técnica

355 associação dos estudantes do instituto superior técnico
fevereiro 1966 revista de engenharia

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

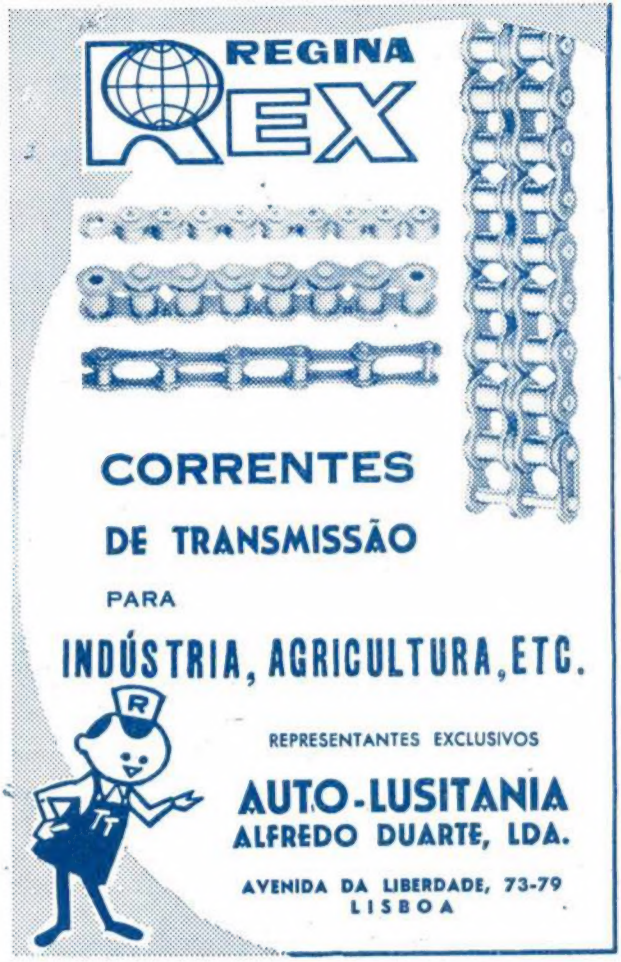
Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3



confiança para a construção com

materiais novobra

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

pavimentos
coberturas
vigas de grande vão
asnas
perfis

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS, NOVOBRA, LDA.
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º D. - TEL. 77 48 32/766446 - LISBOA-5

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

técnica

*NÚMERO 355 * FEVEREIRO DE 1966 * ANO XLI * VOLUME XXVIII * PUBLICAÇÃO MENSAL*

Director
Assis Farinha Martins

Administrador
J. M. Costa Monteiro

Secretário
V. M. Martins Pinto

Redactores
Amadeu M. R Marrecas
Amílcar S. Martins
João C. V. F. Antas
Mário P. M Garcia

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

★

Assinaturas

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

Número avulso — 15$00

★

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais, 103 — Lisboa

SUMÁRIO

241 *HERCULANO DE CARVALHO* — **Caracterização químico-física expedita das águas minerais portuguesas**
A method for rapid determination of the type of portuguese mineral waters

247 *OLIVEIRA NUNES e PIMENTEL MACHADO* — **Considerações sobre exploração de pedreiras — Caso da exploração da Pedreira da Barragem de Vilar do Aproveitamento Hidroeléctrico do rio Távora**
Some considerations en quarry exploitation

267 *ARTUR RAVARA* — **Dimensionamento de fundações de máquinas**
Foundations of rotative machines

283 *ANTÓNIO CARRISSO e D. MOURA* — **Subestações, postos de transformação e postos de seccionamento para o transporte e a distribuição de energia em áreas vastas e de consumo incipiente**
Substations, transformer posts and block posts for the transmission and distribution of electrical energy in wide areas with low consumption

289 *CAETANO CARREIRA* — **Determinação de centros de gravidade**
Determination of centres of gravity

*

266 **Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional**

309 **Do Mundo Técnico**
Cobertura metálica espacial, em Madrid

315 **Biblioteca**

CAPA Aproveitamento Hidroeléctrico do Rio Távora — Barragem do Vilar — Hidro-Eléctrica do Douro.

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

	Pág.
A	
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXX
Aguiar e Melo	XXXI
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Asea Eléctrica Ld.ª	XXVI
C	
CIDEX	IV
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos	XXXII
Construções Técnicas	XXV
D	
Dial	XX
Du Pont	IX
E	
Electro-Arco, Ltd.ª	IV
Electrotécnicos Reunidos	XXVII
Empresa de Cimentos de Leiria	XXXVIII
Empresa Electro Cerâmica	XXIX
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
ESSO	VI
F	
Fábrica Portugal	II
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
G	
George Fischer	III
Guedes & Almeida, Lda.	XXXV
H	
Harker Sumner & C.ª, Ltd.	XXXIII
Heliaço	2.ª da capa
I	
Iberex	XXVIII
I. S. T.	XL
Impermeábilis	XX
Isolux, Lda.	XXXIV
J	
J. Severino Robalo	XVIII
Jayme da Costa, Lda	XV
Johann Keller	XVIII
M	
MAGUE	XIII
Monteiro Gomes, Lda.	XXXIX
Monterroso & C.ª, Lda.	XXXIV
N	
Novobra, Lda.	2.ª da capa
Q	
Quimicor, S.A.R.L.	XIX
R	
Renoluz	XX
Roberto Bosch (Portugal), Lda.	XVIII
S	
Soc. Const. Amadeu Gaudêncio	XXIX
Sociedade de Electricidade Brown Boveri	4.ª da capa
Sociedade Industrial Metalúrgica	XXXVI
Soc. Michaelis de Vasconcelos	XII
Sociedade Portuguesa Cavan	VIII
Sociedade Portuguesa de Válvulas	XIV
Sondagens e Fundações A. Cavaco	IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª	XXXVI
SONORTE	XXXVII
Sopecate	XXXVI
Standard Eléctrica	VII
S. T. E. T.	XXI
V	
Vasco Pessoa, Lda.	XX
Von Roll	V
W	
Wild Portugal, Lda.	XVII

técnica

NUMERO 355 * FEVEREIRO DE 1966 * ANO XLI * VOL. XXVIII * DIRECTOR: ASSIS FARINHA MARTINS

C. D. U. 553.7:543.3:53.08 (469)

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-FÍSICA EXPEDITA DAS ÁGUAS MINERAIS PORTUGUESAS (*)

por A. HERCULANO DE CARVALHO
Prof. I. S. T.

RESUMO

Propõe-se para caracterização expedita duma água mineral, dentro das classes adoptadas pelo Instituto de Hidrologia de Lisboa, a determinação do pH na emergência e a fixação dum índice empírico, chamado «índice característico», que exige as medidas da condutividade eléctrica e do índice de refracção, este obtido por meio da técnica interferométrica. Verifica-se assim que, entre as águas examinadas, apenas uma se afasta da zona ocupada no diagrama «pH-Índice característico», pelas suas congéneres, aliás por razões explicáveis.

Fazem-se também considerações sobre o valor do coeficiente de temperatura da condutividade eléctrica das águas e sobre o quociente do resíduo-seco pela condutividade.

Utilizaram-se no trabalho os resultados das análises completas de cerca de 70 águas minerais portuguesas, efectuadas no Instituto de Hidrologia de Lisboa.

SYNOPSIS

A method for rapid determination of the type of mineral waters, according to the classification adopted by the Instituto de Hidrologia de Lisboa, is suggested.

For this purpose the pH and an empirical parameter, the «caracteristic index», are determined; this index is defined in terms of the electrical conductivity and the refractive index of the water.

Results of analysis of 70 different portuguese mineral waters were used in this work; of all the samples studied only one falls outside the zone occupied by similar waters in the «pH-caracteristic index» diagram, an anomaly that can be explained.

The importance of the temperature coeficient of the electrical conductivity, and of the ratio between the total solid content and the conductivity of the waters is discussed.

Há cerca de trinta anos, procurando um caminho para ràpidamente classificar, dentro do critério seguido pelo Instituto de Hidrologia de Lisboa, uma água mineral, preconizámos [1] as simples determinações da condutividade eléctrica e do índice de refracção (este medido por via interferométrica) cujo cociente, multiplicado por potência conveniente de 10 para obter número com parte inteira significativa, conduz a um índice que posteriormente chamámos *índice característico*, o qual satisfaz, quase completamente, ao objectivo.

$$I_c = \frac{\varkappa^{18^\circ}}{I_i} \times 10^7,$$

onde o numerador é a condutividade eléctrica a 18°, em $(\text{ohm. cm})^{-1}$ e o denominador I_i é o número lido na escala do interferómetro portátil Zeiss, com cuvas de 20 mm, tendo como referência a água bidestilada (índice interferomé-

(*) Comunicação à Classe de Ciências da Academia das Ciências, em 3 de Fevereiro de 1966.

trico). A aferição do nosso interferómetro com soluções de índice de refracção conhecido, dentro da zona que nos interessa, conduz à seguinte relação entre os dois índices:

Índice de refracção (17°, 5) → $n = 9{,}24 \cdot 10^{-7} I_i + 1{,}33320$

Verificámos que os valores de I_c, em 45 águas de diversas nascentes examinadas, se distribuiam assim:

Águas sulfúreas alcalinas	(19)	de 71 a 77
» carbonatadas	(18)	de 54 a 68
» sulfatadas cálcicas	(2)	45,5
» cloretadas	(3)	de 73 a 75
» férreas	(1)	133

Apenas não se podia distinguir, como se vê, entre o primeiro e o penúltimo tipo. Para as águas muito fracamente mineralizadas, devido à pequena sensibilidade nesta zona da técnica interferométrica usada, não era possível tirar conclusões. Mas a simples determinação da condutividade eléctrica é aqui suficiente para colocar a água na classe I da classificação seguida.

Bastantes anos depois [2], propusemos conjugar o índice característico com o valor do pH e representar cada água num diagrama $I_c - pH$ Nestas condições, as águas cloretadas já aparecem suficientemente afastadas das sulfúreas alcalinas e é até possível distinguir entre as águas carbonatadas sódicas gasocarbónicas, das suas congéneres cálcicas e das carbonatadas não-gaso-carbónicas. Diga-se de passagem que a determinação do índice interferométrico das águas fortemente gasocarbónicas tem dificuldades técnicas que afectam a precisão da medida e o mesmo pode dizer-se, até certo ponto, quanto à medida da condutividade eléctrica dessas águas (formação de bolhas sobre as paredes da cuva do interferómetro ou sobre os eléctrodos de condutividade. No entanto tais dificuldades não são inamovíveis se nos contentarmos em obter valores exactos para amostra já um pouco desgaseificada o que, como nos mostra a experiência, não altera sensìvelmente a utilidade do índice característico.

A temperatura de 18°, inicialmente escolhida para a medida da condutividade, era habitual naquele tempo mas hoje a tendência geral é referir as constantes das soluções aquosas a 25°. Por isso, logo que se acentuou na literatura da especialidade essa tendência, passámos sistemàticamente a fazer a determinação não só a 18° (para termos valores comparáveis com os anteriores) mas também a 25°. Temos até hoje nestas condições 68 águas portuguesas de diferentes nascentes, onde estão incluídas todas aquelas em que, anteriormente, já determináramos a condutividade a 18°.

Estes elementos são mais que suficientes para que, de futuro, adoptemos apenas a temperatura de 25°, aliás mais cómoda para nós, sem prejuízo de qualquer comparação com os valores anteriormente obtidos para a constante em causa. Teremos assim:

$$I_c = \frac{\varkappa^{25°}}{I_i} \times 10^7$$

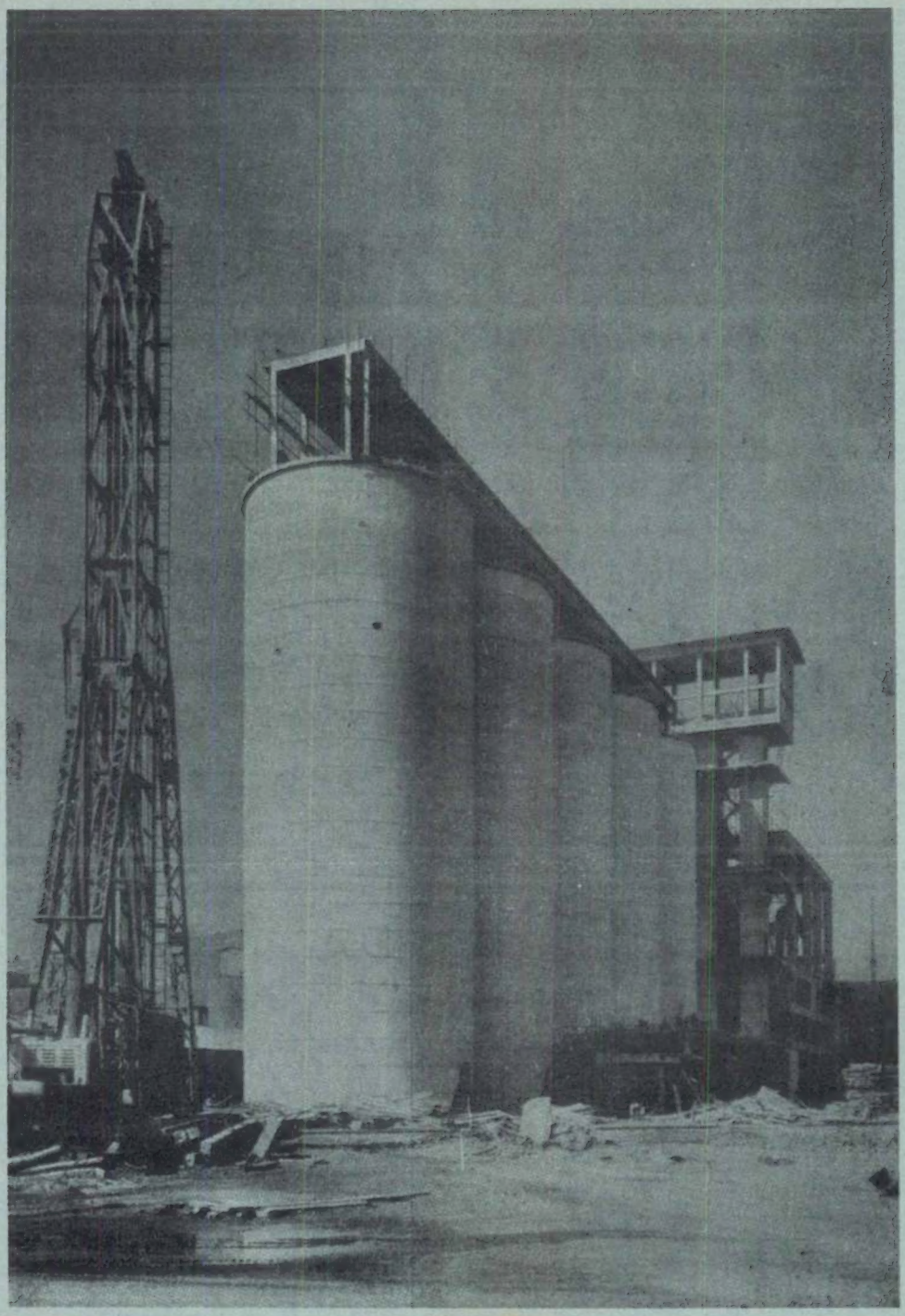
Conjugando os novos valores deste índice empírico com os do pH medido na nascente (a cerca de 25°), obtém-se o quadro da fig. 1, onde os números correspondem às águas nomeadas na tabela I.

Vê-se que a numerosa família das águas sulfúreas sódicas portuguesas aparece delimitada, ao alto e um pouco à direita do diagrama, e que todos os outros tipos se destacam bem, com excepção da água das Caldas da Rainha (sulfúrea neutra ou cálcica) que está dentro do domínio das cloretadas sódicas, com as quais aliás se aparenta. É interessante notar que não há pràticamente outras sobreposições.

Uma água fracamente mineralizada de pH muito baixo (teor de ião *alumínio* relativamente alto), a da Foz da Sertã, e uma outra *férrea*, Vale da Mó, afastam-se para lugares próprios no diagrama.

Algumas águas carbonatadas cálcicas não gaso-carbónicas, que a tradição considera como minero-medicinais, estão em domínio à parte, situado entre as carbonatadas sódicas não gaso-carbónicas e as dos grupos Vidago-Pedras Salgadas e Melgaço. A água de Chaves, com 1/3 a 1/4 da concentração de CO_2 livre em relação a esse último grupo, vai situar se no domínio daquelas outras. É a única anomalia de todo o diagrama, anomalia aliás explicável.

Temo-nos preocupado em examinar o assunto mais profundamente, tentando relacionar quantitativamente o índice característico com a mobilidade e a refracção equivalente dos iões dominantes em cada água, propriedades estas que va-



Bateria de cinco silos com 11 metros e meio de diâmetro e 30 metros de altura cada, assentes sobre 313 **ESTACAS FRANKI**

FUNDAÇÕES FRANKI L.DA

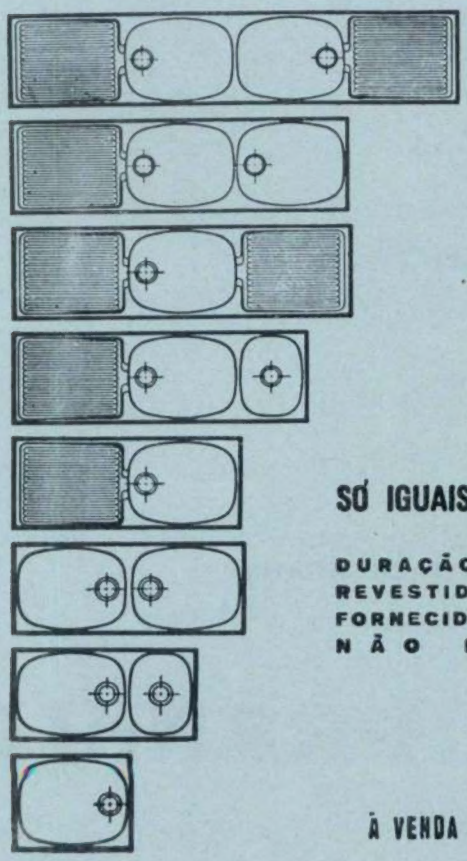
Rua Braamcamp, 13, 3.º — Lisboa 1 — Telefs. 73 41 12/3/4 — End. Teleg. FRANKI

USE NA SUA COZINHA UM ELEGANTE LAVA-LOUÇAS DE AÇO INOXIDÁVEL

CONCEBIDO PELA

FABRICA PORTUGAL

PARA MODERNIZAR OS LARES DE PORTUGAL



APRESENTADOS EM

8 MODELOS

"STANDARD"

EXECUTAM-SE FORA DE SÉRIE, MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES

SÓ IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

DURAÇÃO ILIMITADA • HIGIÉNICOS
REVESTIDOS DE ISOLAMENTO ESPECIAL
FORNECIDOS COM SIFÃO DE SEGURANÇA
NÃO PARTEM A LOUÇA

•

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE

Empirismo
ou
Exactidão cientifica
+GF+
«A experiência é tudo» esta divisa do velho moldador pertence ao passado.
Sómente ensaios sistemáticos em laboratorio conseguem a exactidão dum conhecimento real da natureza da areia.
Os aparelhos +GF+ para o controle das areias
são a base da elaboração de areias tendo caracteristicas optimas para obter uma superficie impecável nas peças moldadas.
Georges Fischer Sociedade Anónima
Schaffhouse (Suiça)
Telefone: (053) 5 60 31 / 5 70 31
Telescriptôr: 52915 geofischer schf

GM 1293/5

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:
- Petróleos
- Indústrias químicas
- Construções navais
- Centrais eléctricas
- Alimentação de caldeiras
- Etc., etc.

Sob as condições de funcionamento seguintes:
- Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
- Pressões: altas e baixas
- Temperaturas: −180° C + 500° C
- Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.º/Telef. 73 53 07/LISBOA 1

Pesquisas e captações de água

Sondagens

Rebaixamento de níveis aquíferos

Injecções e consolidações de terrenos

Fundações

Estacas de betão

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA - 1
- TELEF. 73 35 45 - 5 95 62 - 55 38 73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

ESCOLAS DE SOLDADURA

—

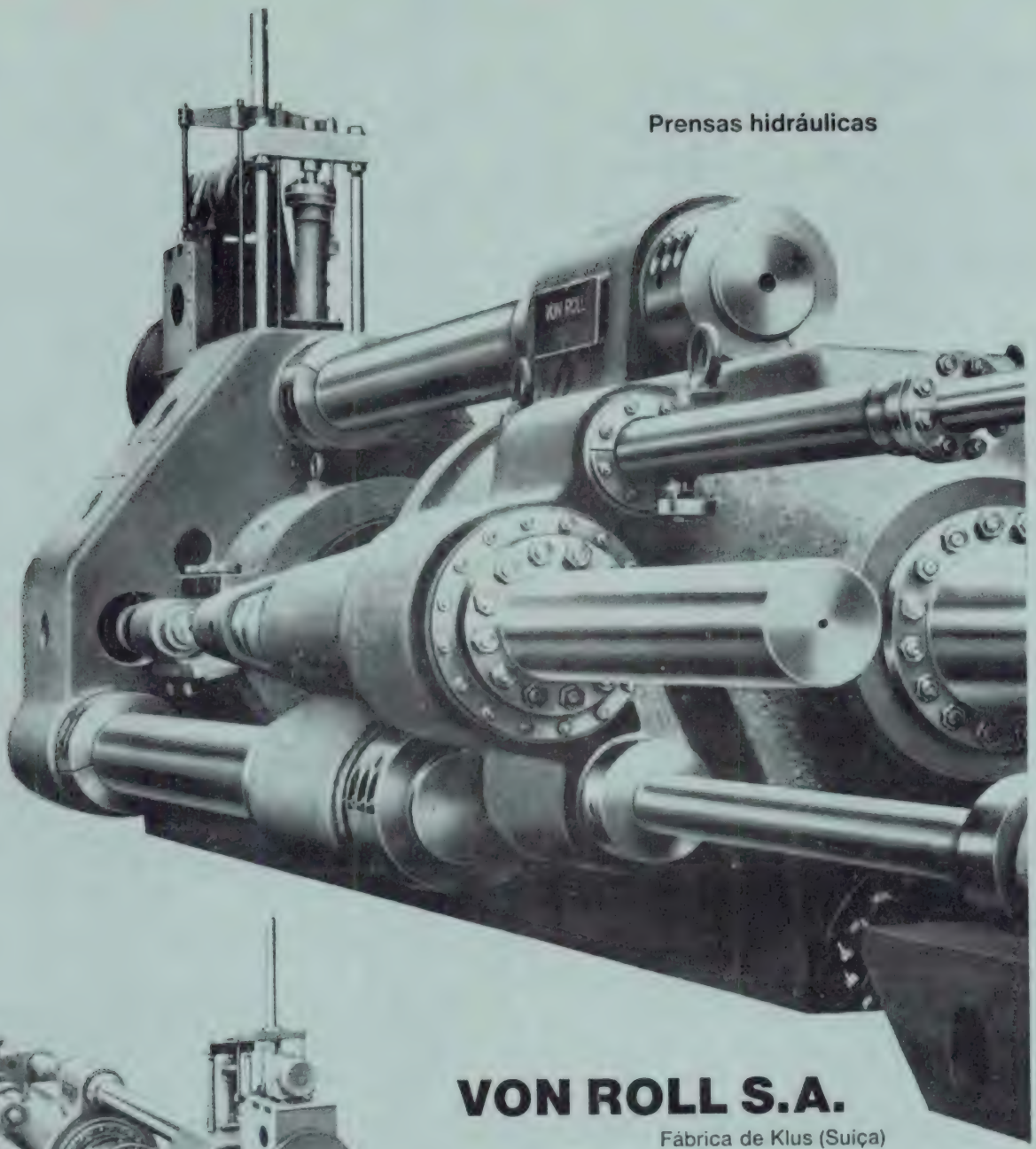
MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

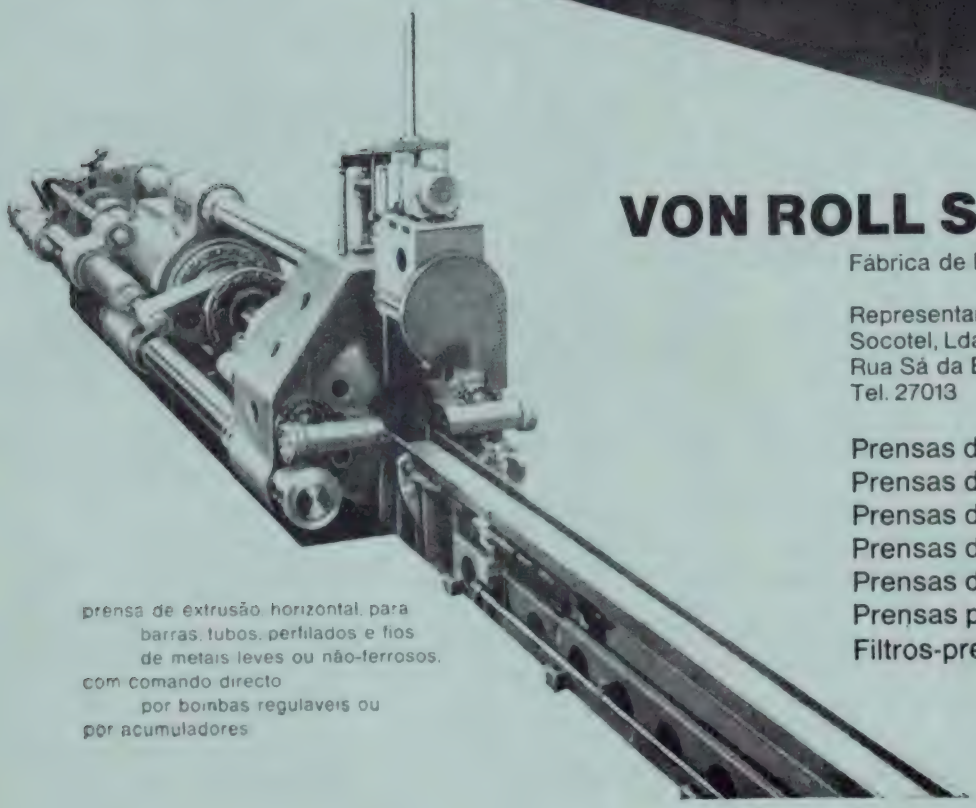
—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73





prensa de extrusão horizontal, para
barras, tubos, perfilados e fios
de metais leves ou não-ferrosos,
com comando directo
por bombas regulaveis ou
por acumuladores

VON ROLL S.A.

Fábrica de Klus (Suiça)

Representantes em Portugal:
Socotel, Lda.
Rua Sá da Bandeira, 651-4º, Porto
Tel. 27013

Prensas de extrusão
Prensas de estampar
Prensas de forjar
Prensas de estirar
Prensas de andares
Prensas para matérias sintéticas
Filtros-prensas

UMA MANUTENÇÃO DA MAQUINARIA MAIS ECONÓMICA

Se você evitar por todas as formas ao seu alcance as possíveis falhas da sua máquina, resultará muito mais económica a sua manutenção.

O óleo industrial ESSO proporciona uma segurança absoluta no rendimento, reduzindo ao mínimo as avarias.

O óleo industrial ESSO torna possível um menor desgaste nas diversas peças, uma melhor conservação de todo o tipo de máquinas, o que, afinal, pressupõe um aumento da produção e a obtenção de maiores benefícios.

ESSO.... PROGR ESSO.... SUC ESSO

ESSO O SIMBOLO ESSO REPRESENTA SETENTA E SETE ANOS DE EXPERIÊNCIA MUNDIAL, COM VINTE DE BONS SERVIÇOS EM PORTUGAL

JAMAIS O HOMEM SENTIRA A SOMBRA DA SOLIDÃO NO MUNDO !

AS COMUNICAÇÕES FORAM EM TODOS OS TEMPOS O ELO DE LIGAÇÃO ENTRE OS POVOS. OS MENSAGEIROS DE ONTEM TÊM HOJE OS SEUS EQUIVALENTES NOS EQUIPAMENTOS DE RÁDIO FABRICADOS PELA STANDARD ELÉCTRICA QUE LEVAM AS NOSSAS MENSAGENS A TODOS OS CANTOS DO MUNDO PORTUGUÊS.

ALTA QUALIDADE, ROBUSTEZ E EFICIÊNCIA SÃO AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS EMISSORES DE BANDA LATERAL ÚNICA SESB DE 30 W UTILIZADOS PRINCIPALMENTE NAS FORÇAS ARMADAS, POLÍCIA, DEFESA CIVIL, NAVEGAÇÃO COSTEIRA, MINAS, INDÚSTRIA E AGRICULTURA.

ESTE EQUIPAMENTO SESB-120 L (120 WATTS P.E.P.) PODE FÁCILMENTE SER MODIFICADO PARA COMUNICAÇÕES A LONGA DISTÂNCIA UNIDADES MÓVEIS, TELE-IMPRESSORES E TELEFONES DE 2 FIOS.

EXTRAORDINÁRIAMENTE VERSÁTIL: SUPRESSÃO DE BANDA NÃO TRANSMITIDA SUPERIOR A 50 dB, 120 W. DE POTÊNCIA DE PONTA 4 CANAIS NA FAIXA DOS 3-5 Mc/s. COMPACTO-480 × 520 × 380 mm, 57 kg É COMPATÍVEL COM O EQUIPAMENTO AM EXISTENTE, DE FÁCIL INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.

Standard Eléctrica

UMA ASSOCIADA DA **ITT**

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

Como o ALATHON® E/VA ajuda os moldadores de plásticos a entrar em novos mercados lucrativos

Peças em borracha podem agora ser produzidas em equipamento convencional de processar plásticos com resinas copolímeras ALATHON E/VA de etileno e acetato de vinilo. As resinas ALATHON E/VA possuem a resiliência e a resistência à flexão repetida da borracha e de outros materiais plásticos flexíveis *sem quaisquer problemas de migração, pois não contém nenhum plastificante.*

As resinas ALATHON E/VA são também fáceis de moldar por sopro, de injectar, de exturdir ou de moldar por vácuo. A rapidez dos ciclos nestas operações oferece ainda duas vantagens importantes: *economia de tempo e custo.*

Outras características: tenacidade a baixas temperaturas, fácil aceitação de cargas e fácil mistura com outros materiais termoplásticos.

O ALATHON E/VA tem um lugar importante na vossa gama de materiais de moldação.

® *Marca registada da Du Pont*

DU PONT

REG U S PAT OFF

Coisas melhores para viver melhor

.... graças à Química

Consulte os Serviços Técnicos do

DISTRIBUIDOR EM PORTUGAL

ANJOS PEREIRA & C.ª, L.DA

Rua D. João V, n.º 2, 3.º

Teleg. STAC **LISBOA** **Tel. 68 41 41**

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

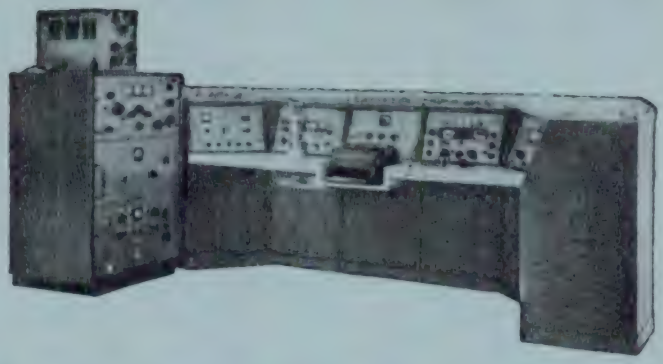
Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º-LISBOA

FÁBRICA EM SÁCAVÉM



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

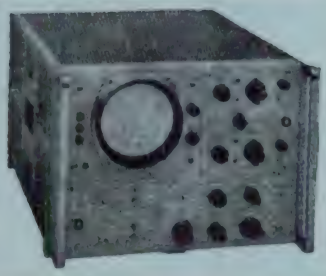
HEWLETT hp PACKARD

aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador Sanborn

Registador digital Dymec



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

Disjuntor de pequeno volume de óleo

tipo MS

Seguro
Compacto
Manutenção mínima

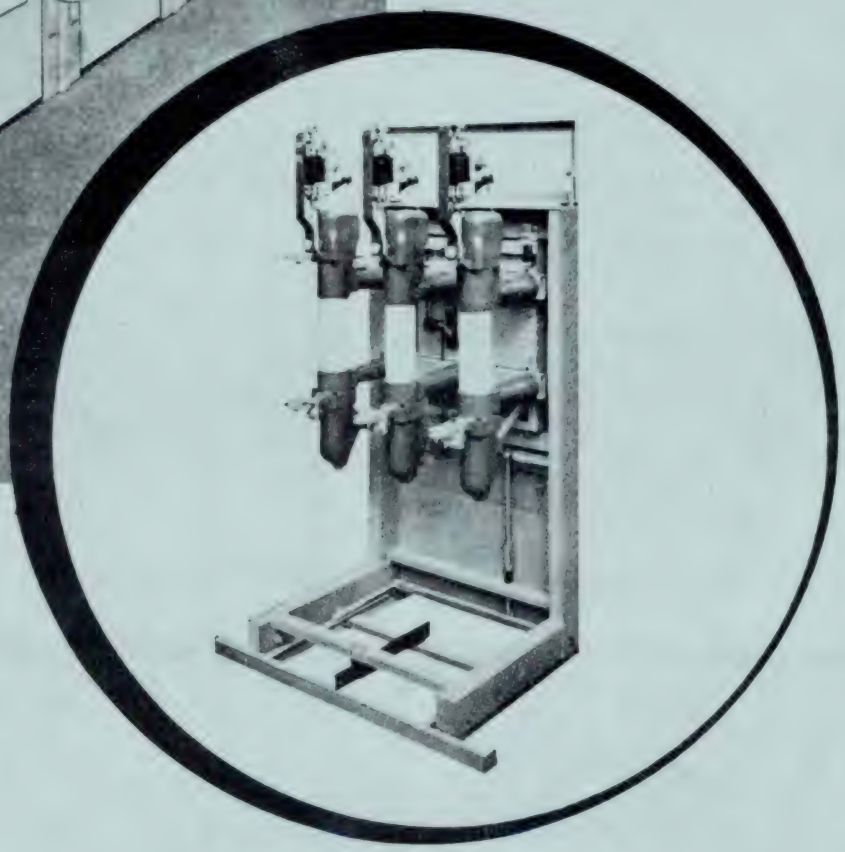
Comando por molas com carga por manivela ou motor

Disjuntor e comando previstos para reengate rápido

Disjuntor extractível sobre carro ou fixo sobre ferragens

Caixa de comando achatada portanto fácil inspecção; parede frontal lisa à face do quadro

Preço e prazo de entrega reduzidos



Tipos	MS 12.6	MS 24.6
Tensão nominal	12 kV	24 kV
Potência de corte	250 MVA	400 MVA

Representantes para Portugal e Ultramar: **Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda.**

PORTO — P. da Liberdade, 114, 3.° LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

riam especìficamente, o que explica a possibilidade de classificação com aquele índice independentemente da concentração salina. Mas o objectivo é difícil de conseguir, já pela complexidade da composição salina de certas águas, já porque a deformabilidade de cada ião não só é afectada pela presença de outros como ainda, por sua vez, a presença de alguns deles pode modificar o índice de refracção da própria água solvente.

Alguns dados úteis podem encontrar-se nos artigos de Fajans [3], Fajans e Joos [4] e de Fajans e Lüdemann [5] mas não nos foi possível tirar, com eles, qualquer conclusão com suficiente generalidade.

A tabela I, já citada, dá ideia da contribuição de cada uma das grandezas, condutividade e índice de refracção, para o índice característico cujo valor a tabela também indica.

Quanto à condutividade equivalente limite, é possível estabelecer escalas fixas dos seus valores relativos para os iões existentes nas águas:

Catiões: $H^+ >> 1/2\ Ca^{2+} > 1/2\ Mg^{2+} = 1/2\ Fe^{2+} > Na^+$

Aniões: $OH^- >> 1/2\ SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3 > 1/2\ CO_3^{2-} > F^- > HCO_3^-$,

encontrando-se os valores respectivos em qualquer tabela de constantes ou nos livros de electroquímica.

Para a «refracção equivalente em diluição infinita», os valores indicados (também para t = 25°) nos citados artigos (4) e (5) permitiriam estabelecer as seguintes escalas mas que, em virtude de interacções, podem não ser válidas em muitos casos:

Catiões: $1/2\ Fe^{2+} > 1/2\ Ca^{2+} > Na^+ >> H^+ > 1/2\ Mg^{2+} > 1/3\ Al^{3+}$

Aniões: $NO_3^- > Cl^- > 1/2\ SO_4^{2-} > 1/2\ SiO_3^{2-} > 1/2\ CO_3^{2-} > F^-$.

Do conhecimento dos valores das duas grandezas em causa e, em face dos iões dominantes em certas águas, apenas nos foi possível, dadas as restrições enunciadas, tirar algumas conclusões de natureza qualitativa e mesmo assim em raros casos.

Assim, por exemplo, o elevado índice característico da água da Foz da Sertã poderá explicar-se pela predominância dos iões alumínio e sulfato, tendo o primeiro baixa refracção equivalente e o segundo elevada mobilidade. Mas com valores de I_c compreendidos entre 80 e 110, isto é, na zona dos índices mais altos, encontram-se águas cujo catião dominante é o sódio, sendo os aniões característicos o bicarbonato, carbonato e fluoreto ou cloreto.

Só neste último caso se poderá vislumbrar uma explicação. Certamente há interacções consideráveis que, em certos casos, modificam as escalas acima apresentadas da refracção específica dos iões.

Estas dificuldades de interpretação não diminuem porém a utilidade do índice característico como meio expedito de classificação de uma água mineral.

Acessòriamente aproveitámos os resultados, até agora obtidos, das medidas de condutividade às duas temperaturas mencionadas para calcular o coeficiente da fórmula binómia que nos dá a variação do valor daquela constante com a temperatura:

$$\varkappa_t = \varkappa_{t'}\ [1 + \alpha\ (t-t')]$$

ou, no nosso caso:

$$\varkappa^{25°} = \varkappa^{18°}\ (1 + 7\ \alpha)$$

A média das 68 águas examinadas deu-nos.

$$\alpha_M = 0{,}02436$$

Os valores extremos foram:

$$\alpha_{min.} = 0{,}0180 \quad ; \quad \alpha_{max.} = 0{,}0329$$

No entanto, há apenas 9 águas com $\alpha > 0{,}0275$ e outro grupo, de 10, onde $\alpha < 0{,}0210$.

Nas restantes (49) o valor do coeficiente de temperatura varia entre 0,0220 e 0,0263.

*

As condições experimentais da execução das três medidas necessárias à fixação do índice (I_c) são as habituais, devendo apenas mencionar-se:

1) a determinação do pH faz-se sempre na nascente, com eléctrodo de vidro e aferição do potenciómetro com solução tampão adequada, a temperatura oscilando entre 18-25°, para o que, no caso de águas mais quentes, se arrefece ràpidamente a água por passagem imediata em serpentina arrefecida exteriormente com água e gelo;

2) a condutividade e o índice interferométrico medem-se no laboratório, em amostras colhidas e conservadas em recipientes de plástico ou de vidro Pyrex, bem vedadas.

Vê-se assim que a fixação do valor de I_c se

pode efectuar, a partir do momento da chegada da amostra ao laboratório, em pouco mais de meia hora.

Aproveitando os dados da tabela I referentes ao valor do resíduo seco (180°) e ao da condutividade, pode ainda calcular-se o valor médio do factor relacionando as duas grandezas.

Excluindo quatro resultados aberrantes (o que se justifica como adiante se refere) obtém-se, para 61 águas de Portugal Continental, a média:

$$q = \frac{\text{resíduo seco } (180^\circ), \text{ em mg/l}}{\varkappa^{25^\circ} \times 10^4} = 66$$

Este valor não se afasta muito das médias obtidas, em separado, para as águas sulfúreas sódicas ($q_s = 69$) e as bicarbonatadas gaso-carbónicas ($q_c = 68$).

Nas restantes águas, temos porém $q = 61$.

Assim, uma vez fixado o tipo de água por meio da determinação de I_c, a ordem de grandeza do resíduo seco pode obter-se multiplicando o valor da condutividade eléctrica a 25°, expresso em $(\text{ohm.cm})^{-1}$, por 10^4 e pelo factor 68,5 para as águas bicarbonatadas sódicas gasocarbónicas e para as sulfúreas sódicas, ou por 61 para as águas dos outros tipos.

As quatro excepções a que atrás aludimos são:

	Valor de q
Foz da Sertã (sulf. alumínica — pH = 4)	50
Monte Real (sulfatadas cálcicas)	91
Curia (sulfatadas cálcicas)	101
Monfortinho (essencialmente siliciosa)	130

As características indicadas entre parêntisis podem explicar os respectivos valores aberrantes de q.

Nas sulfatadas cálcicas, por exemplo, o resíduo é relativamente maior visto que o teor do anião HCO_3^- é mais baixo. Logo, o resíduo seco (a 180°) dessas águas terá valor comparativamente mais elevado (menor perda de peso resultante da decomposição térmica:

$$2\ HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-} + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow).$$

Atendendo a esta circunstância, pode parecer mais lógico substituir, na fórmula de q, o resíduo seco pela mineralização. Mas como se tem em vista obter apenas uma ordem de grandeza, preferimos utilizar o resíduo, por este resultar duma única operação analítica praticada directamente sobre a amostra de água.

Julgamos que a localização de uma água mineral no diagrama pH — I_c, tal como propomos, é mais simples e atinge pràticamente os mesmos objectivos que outras representações gráficas que têm sido propostas por vários autores.

Se algum pequeno mérito podemos admitir ao presente trabalho, consistirá ele na circunstância dos valores experimentais da tabela apresentada terem sido todos (apenas com uma ou duas excepções) obtidos por nós ou pelos nossos colaboradores directos do Laboratório de Físico-Química Hidrológica do Instituto de Hidrologia de Lisboa.

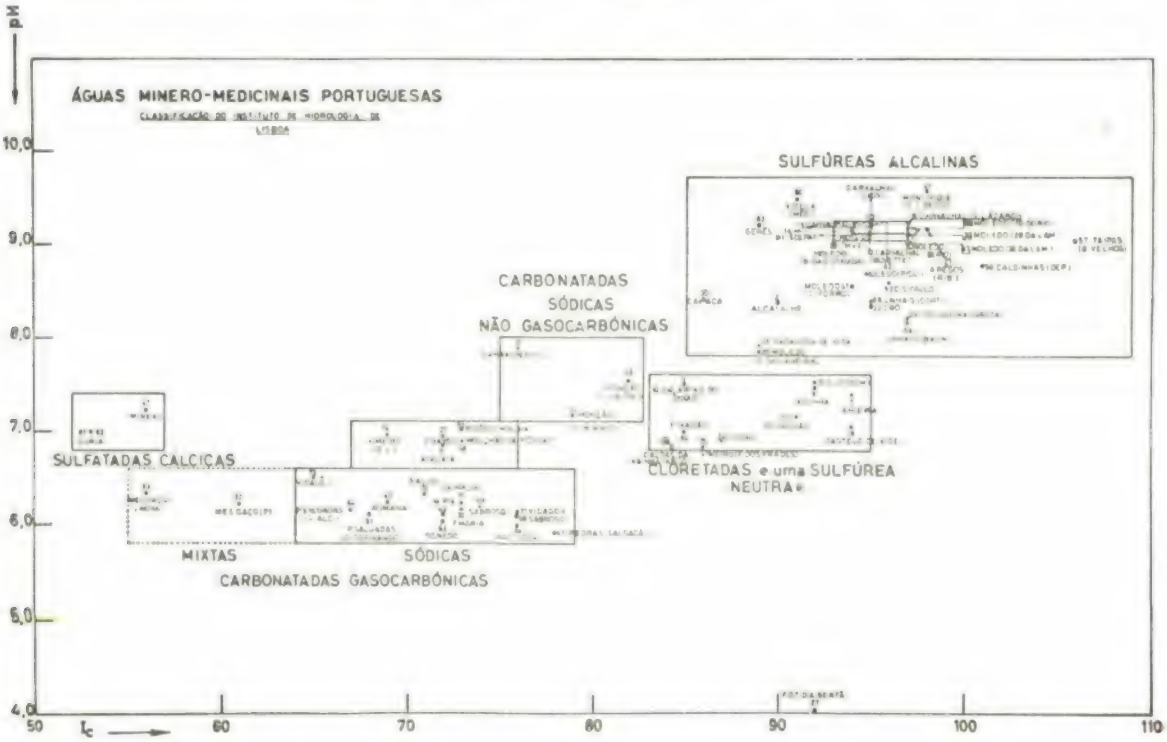


Fig. 1

	N.º	pH	Cond. 10^{-4} 25 °C	I_i	I_c	Resid. mg/l
Alcaçarias do Duque (Nasc. Alcalina)	1	7,5	9,78	115	85	577,6
Alcafache	2	8,38	4,95	55	90	320,0
Amieira	3	7,39	14,5	155	94	800,0
Aregos (Ribeiro)	4	8,19	4,11	42	98	284,7
Atalaia	5	6,86	9,49	131	72	514,0
Azenha	6	7,50	11,1	120	79	601,6
Cabeço de Vide (Copa)	7	11,68	—	47	—	260,4 *
» » » (Ermida)	8	11,46	—	40	—	238,1 *
» » » (Arca)	9	11,38	—	29	—	187,3 *
Caldas da Rainha (Arco)	10	6,89	50,27	600	84	3097
Campilho	11	6,25	17,00	235	73	1256
Carvalhal (Buvette)	12	9,17	4,16	44	95	302
» (Juvência)	13	9,21	4,27	45	95	328
» (4 e 5 — Depósito)	14	9,21	4,24	45	94	316
» (Sr.ª da Saúde)	15	9,23	4,24	45	94	324
» (S. Lázaro)	16	9,22	4,23	44	96	302
Carvalhelhos	17	7,89	2,51	33	76	185
Casais da Charneca	18	8,42	—	48	—	252
Cast. de Vide (F. da Vida)	19	7,16	20,25	243	94	1215
Cavaca	20	8,40	—	45	86 ?	294
Chaves	21	6,93	25,9	362	72	1746
Cró	22	8,38	5,49	58	95	330
Cucos (Moderno)	23	7,52	57,11	620	92	3172
Estoril	24	6,91	77,80	889	87	4469
Fedegosa de Nisa	25	7,92	5,62	63	89	332
Felgueira (Gruta)	26	8,20	5,15	53	97	341
Foz da Sertã	27	4,01	2,76	30	92	172
Fonte do Gião	28	6,32	3,90	46	85	249
Grichões	29	5,40	0,51	5	—	32,4
Manteigas (F. Santa)	30	9,73	2,15	—	—	162
» (F. Quente)	31	9,34	2,09	—	—	166
Melgaço (Principal)	32	6,23	(16,93) 19,04	(277)	(61)	1178
» (Nova)	33	6,35	(18,5) 20,82	(334)	(56)	1359
Moledo (Bica Rio)	34	9,16	3,49	36	97	230
» (30 do Rio)	35	9,22	3,46	36	96	256
» (28 da Lameira)	36	9,14	3,45	36	96	232
» (30 da Lameira)	37	9,08	3,47	36	96	235
» (Fresco da Lameira)	38	7,86	6,20	70	89	416
» (Bica da Estrada)	39	9,08	3,45	37	93	211
» (Mina Velha da Estrada)	40	9,20	3,40	36	94	234
» (Cam. de Ferro)	41	8,56	3,58	38	94	246
» (Piscina)	42	9,18	3,42	36	95	227
Monção (Sr.ª da Saúde)	43	7,55	6,60	80	82	460
» (St.ª M.ª dos Anjos)	44	7,18	7,39	93	79	503
Monchique (S. João de Deus)	45	9,58	—	51	98 ?	304
Monfortinho (F. S.)	46	5,54	0,363	4	(91)	45,8
Monte Real	47	7,22	28,3	509	56	2594
Mouchão da Póvoa (1)	48	6,90	214	(2920)	(73)	13,6 g/1**
» » » (2)	49	6,70	—	—	—	13,9 g/1**

* A 105º C.

** Mineral. Calculada.

	N.º	pH	Cond. 10^{-4} 25 °C	I_i	I_c	Resid. mg/l
Pedrógão	50	7,17	7,82	97	91	469
Piedade	51	7,00	—	381	—	—
Pizões-Moura	52	7,03	9,45	130	73	513
Caldas de S. Paulo	53	8,57	6,93	72	96	450
S. Pedro do Rio	54	7,9	—	16,5	—	166
S. Filomena (Angola)	55	6,52	53,5	—	—	4091
Caldinhas (Dep.)	56	8,75	9,07	90	101	586
Taipas (B. Velhos)	57	9,03	2,87	27	106	204
Unhais (Cortiço)	58	8,49	3,51	37	95	248
» (Balneário)	59	8,17	3,02	31	97	220
Vale da Mó	60	6,42	1,95	18	108	130
Pedras Salgadas (D. Fernando)	61	6,12	27,45	403	68	1842
» » (Maria Pia)	62	6,12	25,94	361	72	1743
» » — Penedo	63	6,04	25,08	347	72	1679
» » — G.de Alcalina	64	6,16	31,78	471	67	2167
» » — P.a Salgadas	65	5,91	18,11	232	78	1249
» » — Preciosa	66	6,01	23,04	302	76	1527
» » — Romana	67	6,24	37,20	543	69	2602
Sabroso I	68	6,11	22,26	293	76	1509
Sabroso II	69	6,20	29,48	400	74	2038
F. Maria	70	6,18	28,38	391	73	1956
Vidago II	71	6,15	22,70	300	76	1497
Salus	72	6,34	39,34	552	71	2659
Vidago I	73	6,52	57,12	881	65	4036
Vimeiro (R. S.)	74	6,96	13,06	188	69	864
Vimeiro (F. dos Frades)	75	6,84	57,80	668	86	3307,0
Vizela — Lam. 1	76	9,55	—	51	—	328
» — Lam. 2	77	9,50	—	51	—	326
» — Rio	78	9,49	—	50	—	327
» — Mourisco	79	9,49	—	49	—	302
» — Médico	80	9,49	—	48	91 ?	324
Curia (Princ.)	81	7,00	(22,15)	420	53 ?	—
Curia (Alb. Cout.)	82	7,00	(22,59)	430	53 ?	2342
Gerês	83	9,20	3,49	39	89	249
Fedegosa de Mação	84	7,00	4,07	43	85	—

BIBLIOGRAFIA

[1] — A. Herculano de Carvalho — Conductivité et degré interférométrique des eaux minérales portugaises — Com. ao XIII Congresso Internacional de Hidrologia — Lisboa.

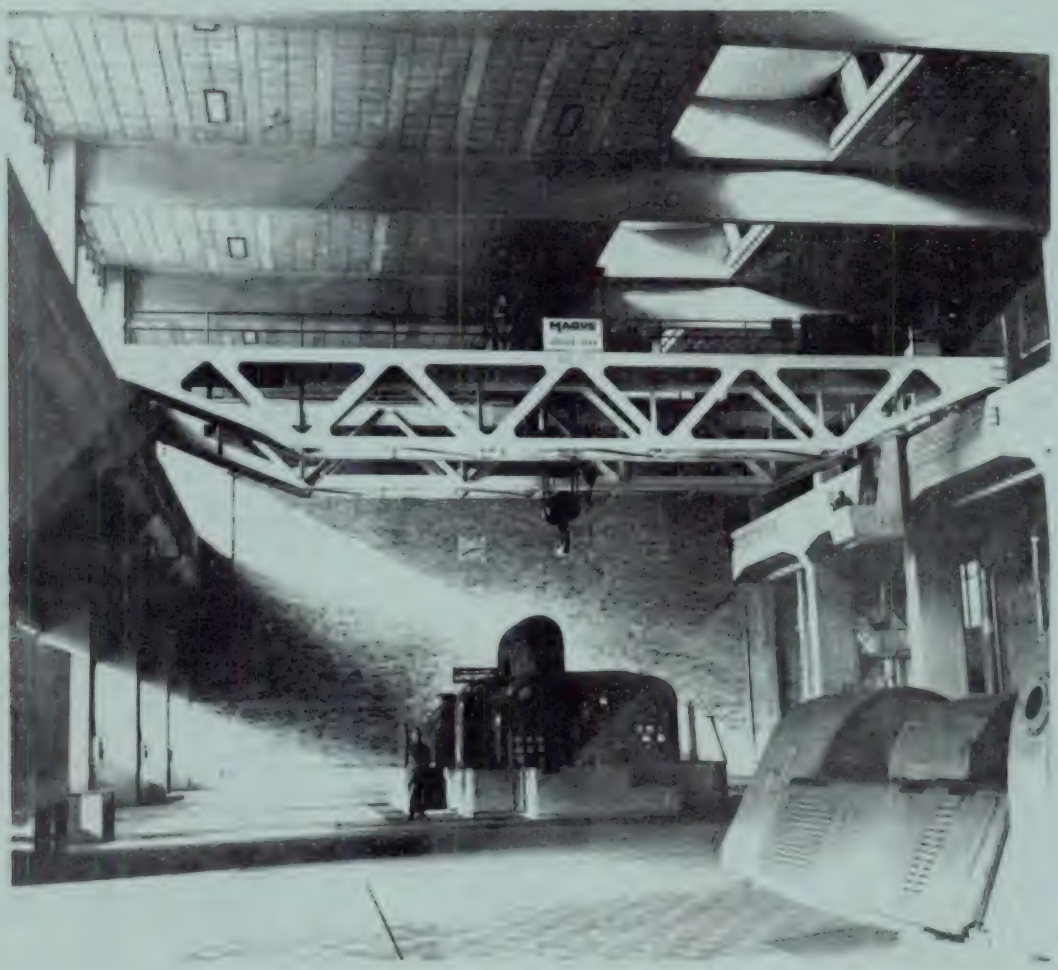
[2] — A. Herculano de Carvalho — Águas sulfúreas alcalinas portuguesas. «Clínica, Higiene e Hidrologia» — Junho de 1957.

[3] — K. Fajans — Z. physik. — Abt B-24 Heft 2/3-1934.

[4] — K. Fajans e G. Joos — Z. Physik 23 (1924) 1. (In Landolt—Börnstein I. Band—1 Teil. (1950) pg. 402).

[5] — K. K. Fajans e Lüdemann — Z. physik. Chem. A, 29 (193) 150.

MAGUE



Ponte rolante eléctrica de 100 t - 10 t / 22 m em serviço na central na Tapada do Outeiro.

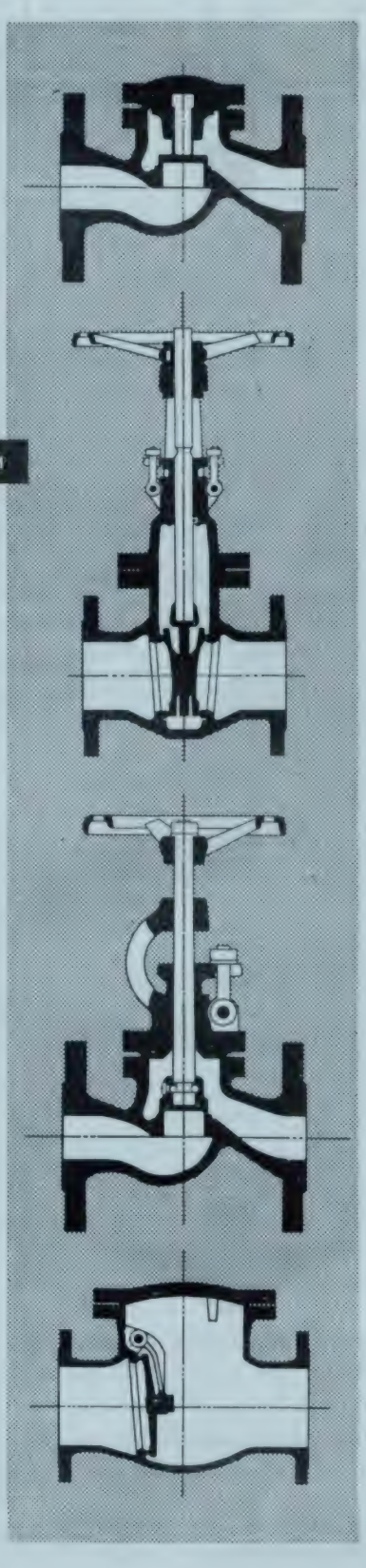
PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

válvulas

- passagem
- retenção
- regulação
- cunha



PARA LÍQUIDOS, VAPORES E GASES (INCLUINDO NH_3 E SO_2) EM

ferro fundido
ferro fundido com grafite esferoidal
aço vasado
aço inoxidável

DN 10 mm até 600 mm **PN 6 a 40 kg/cm²**

conforme as normas **DIN** e **ASA**

VÁLVULAS DE SEGURANÇA, DE REDUÇÃO, ELECTROMAGNÉTICAS E VÁLVULAS ESPECIAIS

- estudos
- projectos
- orçamentos
- assistência técnica

FENAL

SOCIEDADE PORTUGUESA DE VÁLVULAS, LDA.

SEDE: Rua Academia das Ciências, 5 - Telef. 32 00 11 (8 linhas) - Lisboa

FILIAL: Praça D. João I, 5-2º - Telef. 2 47 71 - Porto

C. D. U. 622.271.2

CONSIDERAÇÕES SOBRE EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS

CASO DA EXPLORAÇÃO DA PEDREIRA DA BARRAGEM DE VILAR DO APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DO RIO TÁVORA (*)

por J. M. OLIVEIRA NUNES
Eng.º Civil I. S. T.
E. F. PIMENTEL MACHADO
Eng.º Civil U. P.

SUMÁRIO

São focados os principais problemas ligados à exploração de pedreiras, documentando os conceitos expostos com resultados obtidos num caso concreto — a pedreira de que se extraiu o enrocamento para a construção da barragem de Vilar no rio Távora.

É posta em relevo a importância da escolha criteriosa do tipo de equipamento e do plano de exploração mais adequados às características e à finalidade da pedreira.

Mostram-se as vantagens de um controle permanente e de um exame crítico dos resultados que vão sendo sucessivamente obtidos, de maneira a poder-se orientar a exploração no sentido da melhor solução técnico-económica.

Apresentam-se elementos estatísticos relativos à pedreira de Vilar, procurando-se deles deduzir a incidência de cada um dos principais factores que intervêm no custo da exploração.

SYNOPSIS

Chief problems connected with the exploitation of quarries are examined and notions exposed are illustrated with results obtained from an actual case, that of a quarry wherefrom rockfill for the Vilar dam on the Távora river was taken.

The importance of a wise choice of the type of equipment used is emphasized, as well as the exploitation plan which should be the most suitable for the characteristics and the purpose of the quarry.

The advantages of a permanent control are shown and a critical review is given of the results successively encountered, in order to conduct the exploitation in such a way that the best technical and economical solution should be found.

Statistical data concerning the Vilar quarry is furnished and it is tried to deduce from it the incidence of every main factor that accounts for the costs of exploitation.

INTRODUÇÃO

O assunto do trabalho que apresentamos diz respeito à «exploração de pedreiras», melhor diríamos, à exploração duma pedreira.

O assunto em si é bastante restrito e o problema aparentemente simples. Decidimos no entanto apresentá-lo em virtude da convicção que temos, radicada em muitas discussões, de que o problema não é completamente dominado, mesmo por grande parte das pessoas que normalmente o tratam — não se lhe dá normalmente a importância que efectivamente tem.

Não se pretende resolver aqui definitivamente o problema — de resto nós não somos especialistas desta matéria — mas contribuir para o seu esclarecimento com a experiência vivida na exploração duma pedreira, em que se teve oportunidade de colaborar, orientando-a com base na crítica dos resultados que iam sendo obtidos ao longo dessa exploração.

Já em anteriores obras hidroeléctricas tínhamos tido ocasião de nos debruçarmos sobre a exploração de pedreiras, mas nunca duma forma tão íntima.

A redacção da parte fundamental deste trabalho foi feita durante a exploração da pedreira, o que influenciou e explica a exposição, originando por vezes repetições. Poderia ser mais concentrada, mais resumida, se redigida pos-

(*) — Afluente da margem esquerda do rio Douro.

teriormente. Preferimos no entanto apresentá-la na convicção de que a forma, retratando um pouco a evolução das ideias no tempo, tornará mais fácil a sua assimilação pelas pessoa menos familiarizadas com este problema.

Com o estudo de uma pedreira pretende-se, além da obtenção da pedra com a qualidade e em quantidades necessárias à obra a que se destina, que a sua exploração resulte o mais económica possível.

Para isso há que ter presentes, para os fazer intervir no estudo, o custo do explosivo e seus acessórios e o custo da furação.

Um dos dados do problema é a dimensão máxima admissível para a pedra; quanto maior for essa dimensão, mais económica é a exploração. No caso da pedra para betão, a dimensão máxima dos blocos é condicionada pela abertura da britadeira primária. No caso da pedra para enrocamento, a dimensão máxima é limitada pelos meios de carga e transporte, que devem ser, evidentemente, os adequados, não a limitando além do pràticamente indispensável.

O custo do explosivo é um dado fácil de obter. O custo da furação já é muito mais complexo. Depende das máquinas a utilizar — do seu preço e do custo de exploração incluindo neste a conservação e o consumo de ar comprimido.

Na escolha do tipo de máquinas a utilizar na furação deve ter-se bem presente o seu custo de exploração, o que julgamos não ser sempre a regra. Afigura-se-nos que, por vezes, uma máquina é escolhida só porque tem sido utilizada noutros casos, ou porque o seu custo de aquisição é menos elevado.

Quanto ao consumo de explosivo, uma primeira ideia geral a ter presente é que, para a sua redução ao mínimo, interessa que a altura da pedreira seja suficientemente elevada para que diminua a influência da carga de fundo.

E também, para uma dada pedreira e uma dada altura de frente, o espaçamento entre os furos e a distância do plano destes à frente deverão ser tais que o custo furação-explosivo seja o mínimo.

Evidentemente que no custo há que atender não só às operações de desmonte, mas também ao taqueio, isto é, à fragmentação da pedra depois de desmontada, de modo a esta ficar com o tamanho máximo desejado.

Para certos casos, o custo do taqueio não varia muito com o espaçamento dos furos. De facto, como veremos, em Vilar observou-se que o afastamento dos furos não trouxe grande variação ao custo do taqueio. A quantidade de explosivo manteve-se constante no taqueio quando a distância do plano de furos à frente da pedreira variou de 3,0 a 4,6 m, e, consequentemente, a distância entre os furos.

O diâmetro dos furos é um elemento muito importante. O espaço dum furo definido pelo diâmetro e pelo seu comprimento — tem que ser suficiente para a quantidade de explosivo que lhe corresponde. Por outro lado, deve ter-se a preocupação de aproveitar o melhor possível a capacidade de carga dos furos, isto é, conjugar o seu espaçamento e a sua distância à frente com a quantidade de explosivo que cada furo pode comportar, de modo a tirar-se o máximo rendimento da furação. Geralmente, para as alturas aconselháveis das frentes de pedreira, o volume de rocha a desmontar correspondente a cada furo é limitado pelas exigências da carga de fundo, necessàriamente mais concentrada do que a carga distribuída na parte superior do furo, como veremos adiante.

O explosivo é, normalmente, embalado sob a forma de cilindros de diâmetro apenas um pouco inferior ao diâmetro do furo onde vai ser introduzido.

PROCESSOS UTILIZADOS NA EXPLORAÇÃO DA PEDREIRA DE VILAR

A pedreira explorada para a obtenção do enrocamento e inertes para o betão da barragem de Vilar, situava-se na margem esquerda do rio Távora, afluente da margem esquerda do rio Douro, a cerca de 2 quilómetros por estrada do local da barragem. Aí havia bons afloramentos, permitindo conveniente traça de pedra. A rocha era um granodiorito de grão grosseiro com textura porfiróide constituído por oligoclase, microclina, quartzo e biotite, e, acessòriamente, por zircão, apatite e magnetite.

As manifestações exteriores de boa qualidade eram de tal forma que se dispensaram as habituais sondagens de prospecção.

Dada a grande extensão do maciço, foi possível explorar a rocha numa só bancada (Fig. 1).

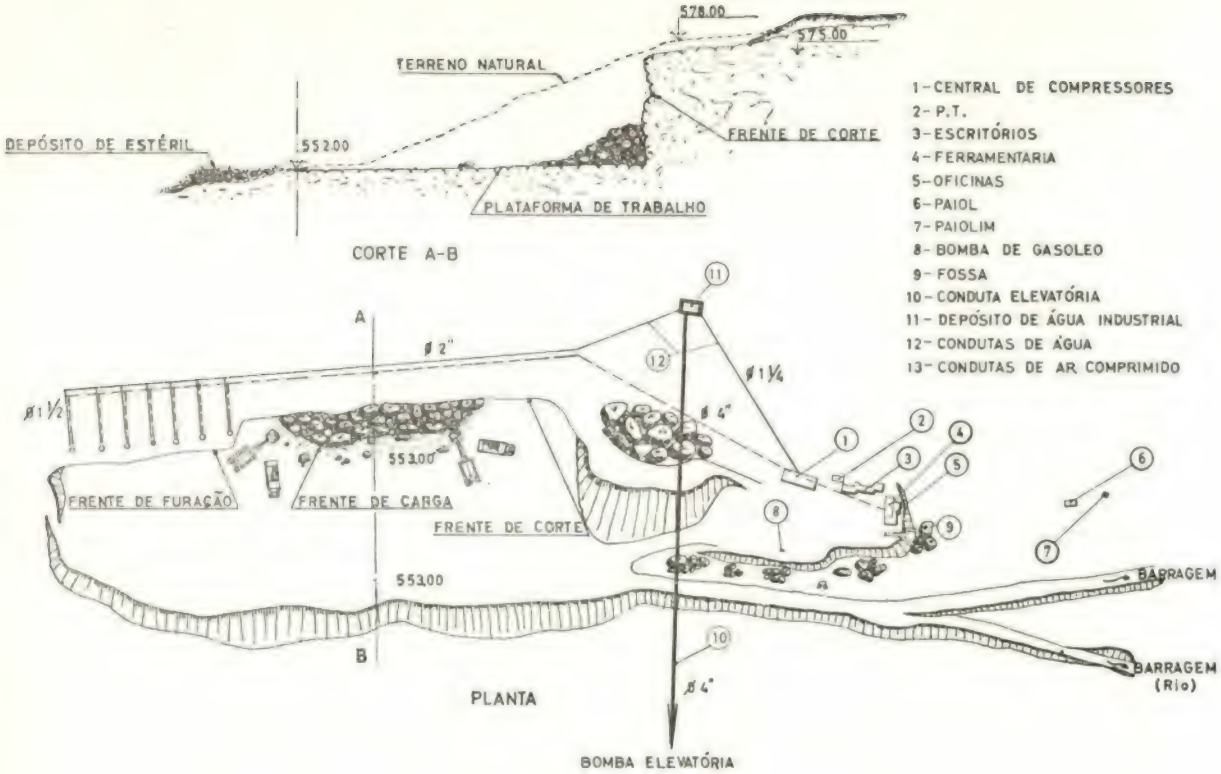


Fig 1 — Pedreira

1 — Descoberta da pedreira

O desmonte da pedra foi precedido pela remoção duma camada superficial de rocha decomposta ou muito alterada na espessura de 2 a 3 metros. Esta operação, chamada «descoberta da pedreira», cuja necessidade se verifica pràticamente em todas as pedreiras, realizou-se durante largo período em simultaneidade com o desmonte de zonas da pedreira já descobertas.

A referida camada superficial era por vezes bastante dura (embora evidentemente, de qualidade imprópria para ser aplicada na barragem), pelo que para a sua remoção se teve de recorrer a explosivos, empregando-se na furação, a certa altura, um «wagon drill».

Depois de abalados pelo fogo, os produtos eram empurrados por um «buldozer» e depositados à frente da zona a explorar, formando um terrapleno — a plataforma da pedreira. Mais tarde, já em plena exploração, os referidos produtos eram lançados do alto para a plataforma, donde eram tomados e levados a depósito à frente da plataforma (Fig. 2). Em média empregaram-se dois camiões dumpers de 13 ton. neste transporte.

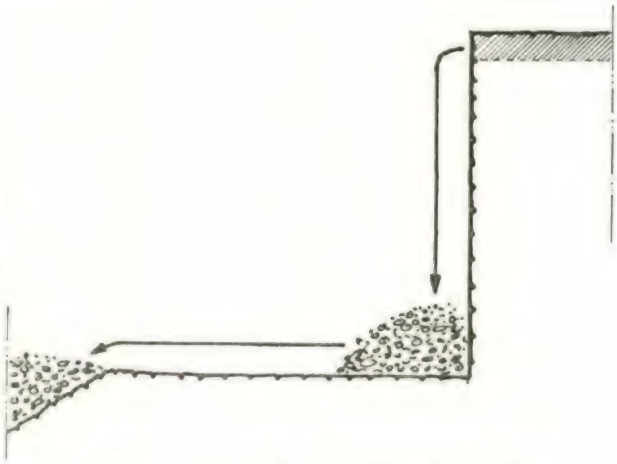


Fig. 2 — Deposição esquemática do estéril à frente da plataforma da pedreira

Em certos locais, especialmente quando o lançamento do escombro para a plataforma afectava o trabalho de carga na pedreira ou de furação das sapateiras, o escombro era carregado directamente no cimo da pedreira em camiões, utilizando-se na carga uma pá «Caterpillar-977», tipo «trax escavator».

Estes produtos da descoberta da pedreira vieram a constituir pràticamente todo o estéril, isto é, a parte cuja má qualidade não lhe permitiu ser

utilizada. Esse estéril, no conjunto, correspondeu apenas a 12 % da rocha desmontada.

A exploração da pedreira começou em 15/7/63, mas só em Janeiro seguinte a descoberta da pedreira passou a ser generalizada.

Cabe referir que, em geral, tècnicamente nada impede que a descoberta se conclua antes do início do desmonte, com o que se simplificará o processo de exploração e se reduzirão o número de elementos de transporte. De qualquer modo, a descoberta, evidentemente, deverá andar suficientemente avançada em relação ao desmonte, de modo a não interferir com ele.

2 — Desmonte

Dada a grande extensão do maciço rochoso e a sua forma e tendo em conta os volumes de rocha a desmontar — cerca de 300 000 m³ de rocha «in situ» — foi possível, como se disse, fazer a exploração da pedreira numa só bancada. Na (fig. 1) apresenta-se uma planta e um corte normal à plataforma da pedreira. A altura máxima da bancada foi de 25 m. Como se sabe, a exploração é tanto mais económica quanto maior for a altura da bancada até um certo valor desta. Claro que essa altura, para um dado volume a desmontar, depende do comprimento da pedreira interessado na exploração e por isso das condições de exploração. O comprimento da pedreira foi de cerca de 290 m. A parte correspondente a cada pega, isto é, desmontada ao mesmo tempo, correspondia a cerca de 1/3 do comprimento da pedreira. Desta forma, a pedreira ficou dividida em 3 partes. Assim, na plataforma da pedreira procedia-se, numa parte, ao carregamento em camiões da pedra desmontada, noutra, ao chamado taqueio, e, na terceira, à remoção dos produtos da descoberta ou à furação das chamadas sapateiras. No desmonte, dada a altura das frentes, aplicou-se o chamado método de furos verticais profundos, que se aplica até à altura de 80, mesmo de 100 m. A altura mais económica parece ser a de 30 m [1]. Como o próprio nome indica, os furos onde se introduzem as cargas de explosivo são verticais e definem um plano paralelo à frente da pedreira (também vertical) e situado a uma determinada distância — V — [1] dessa frente (fig. 3).

Os furos apresentam um certo espaçamento — E — entre si.

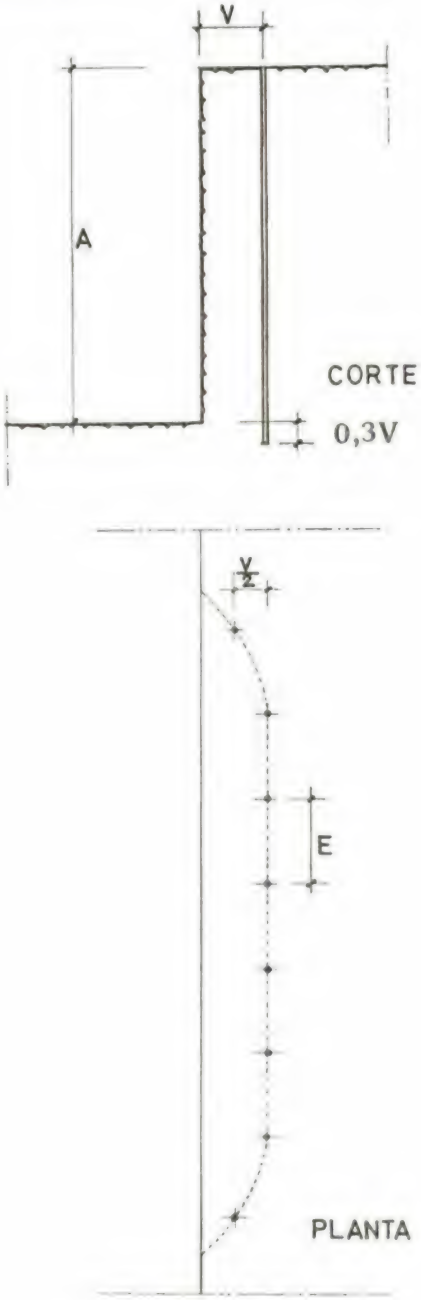


Fig. 3 — Plano de furação

O comprimento total da furação, o seu diâmetro e a quantidade de explosivos a empregar, estão, evidentemente, relacionados com a quantidade

[1] — Les ouvrages d'art — GALABRU — Edições Eyrolles.

[1] — Por uma questão de facilidade aplicamos a notação do «Manual on Rock Blasting» da Atlas Diesel.

de rocha a desmontar que os próprios furos definem, bem como com as características dessa rocha, procurando-se que o custo da exploração da pedra, função do custo da furação e do explosivo seja mínimo.

Há regras que permitem fixar os elementos de partida, isto é a quantidade de explosivo em função do seu tipo, a distância à frente da pedreira do plano definido pelos furos e o espaçamento entre furos, em face das características da rocha e da altura da frente da pedreira.

É preciso, porém, notar bem que, dada a estreita dependência da quantidade de explosivos das características da rocha e da sua estrutura, só por ensaios essa quantidade mínima de explosivo pode ser determinada, sendo ela um dos objectivos principais do estudo.

Antes de desenvolvermos estes aspectos, convém ter presente o seguinte: Duma maneira geral nota-se perfeitamente, após o disparo duma pega, a chamada «cana» dos tiros, definindo, no caso presente de Vilar, aproximadamente um plano vertical. A rocha desmontada a cada momento corresponde assim a um prisma bem definido, afora as singularidades como, por exemplo, as provocadas pelas diaclases inclinadas que originam a queda da rocha para além do plano dos tiros (fig. 4).

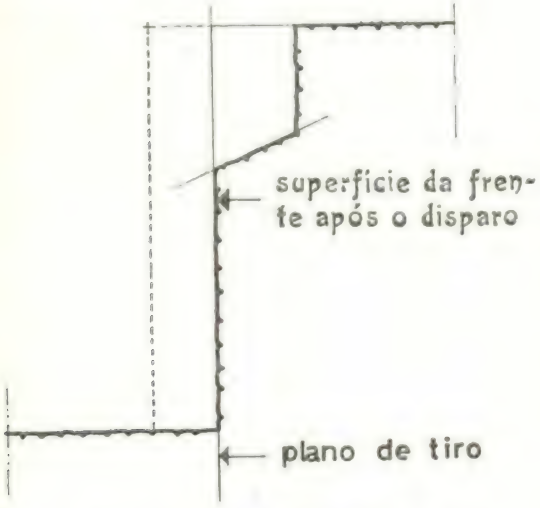


Fig. 4 — Irregularidades da frente provocadas por diaclases

Embora também toda a rocha situada para além do plano de tiro no sentido do maciço se mantenha após o disparo, se examinarmos a rocha no topo da pedreira, verifica-se, no caso de Vilar, numa extensão de 4 a 5 m a contar da frente da pedreira, a existência de grandes fracturas, por vezes de grande espessura, e que foram provocadas pelo fogo. A distância da frente até onde se verificaram essas fracturas dependerá da carga, portanto da distância do plano de tiro à frente da pedreira. Na altura em que fizemos esta observação, essa distância era 4,5 m.

Na pedreira de Bemposta (explorada para a obtenção de agregados destinados aos betões das estruturas do aproveitamento hidroeléctrico do mesmo nome, no Douro Internacional), embora as «canas» dos tiros fossem igualmente evidentes após o disparo, a superfície da frente não se apresentava tão plana, verificando-se aproximadamente superfícies cilíndricas entre cada dois furos. Tal facto resultava da estrutura da rocha ser bastante mais diaclasada em Bemposta do que em Vilar.

3 — Observações sobre o cálculo das pegas de desmonte

Para a determinação dos elementos das pegas de partida, recorreu-se às regras e à fórmula de Langefors apresentadas no «Manual on Rock Blasting«, editado pela Atlas Copco.

Antes da apresentação da fórmula, e para a sua compreensão, convém ter presente o seguinte:

Na fig. 5 estão representados dois casos em que os furos têm a mesma altura e estão situados à mesma distância da frente. No entanto, a resistência que é necessário vencer para desmontar a rocha não é, evidentemente, a mesma para os dois casos. Efectivamente, no caso *a*) a resistência a vencer é a correspondente à resistência de tracção duma superfície vertical tangente ao furo e doutra superfície passando pela base dos furos e fazendo com o plano dos furos um ângulo de cerca de 45°. No caso *b*), além da resistência à tracção, há a vencer a resistência ao corte segundo plano normal ao plano dos tiros, passando pela base dos furos. Como a resistência ao corte é muito superior à resistência à tracção a quantidade de explosivo a empregar no segundo caso *b*) é bastante superior à do caso *a*), para a mesma altura de bancada. No segundo caso, diz-se que o furo é constrangido.

No caso dum furo de grande altura, há a considerar por isso a carga de fundo, que deverá ser o mais concentrada possível, e a carga a dis-

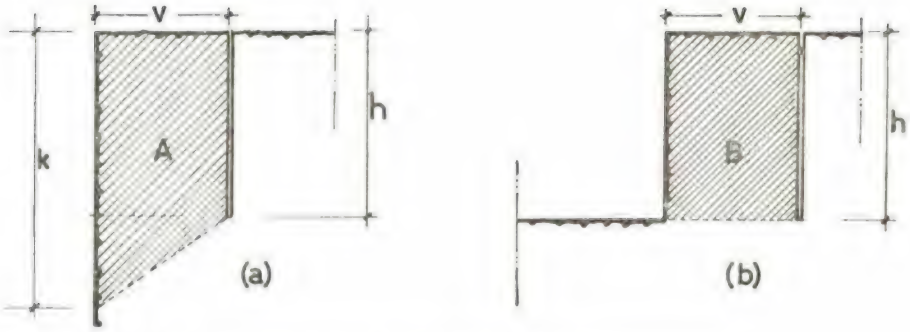


Fig 5 – Frente com fundo livre e fundo constrangido

Fig. 6 — Comparticipação entre furos paralelos

tribuir ao longo do furo para vencer a resistência à tracção da zona correspondente.

Se considerarmos um conjunto de furos paralelos, desde que a distância duns aos outros não ultrapasse um certo limite, a carga relativa a cada um deles é inferior à que corresponderia a um furo isolado que interessasse o mesmo volume de rocha. Tal facto resulta da comparticipação dos tiros no vencimento da resistência à tracção das superfícies sensìvelmente cilíndricas tangenciais ao plano de tiro (fig. 6). Aconselha-se, na prática, para um bom aproveitamento desta comparticipação, usar um valor da relação $\frac{E}{V} = 1{,}3$.

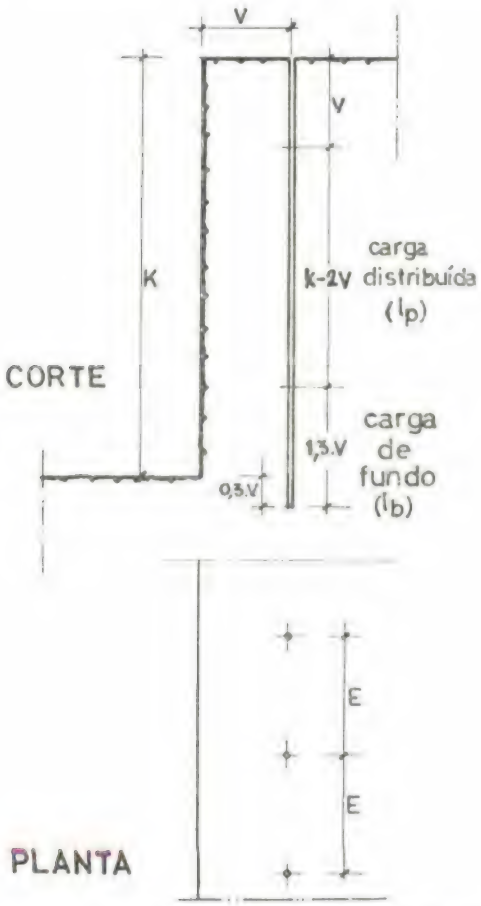


Fig 7 — Notações da Fórmula de Langefors

As notações que aparecem na fórmula de Langefores (fig. 7) são as seguidamente indicadas:

K — altura da frente a desmontar. m.

V — distância dos furos ao plano da frente da pedreira. m. (linha de menor resistência)

E — espaçamento entre furos, medido na horizontal. m.

s — coeficiente de potência do explosivo, tomando-se para unidade o correspondente à dinamite sueca LFB

f — factor de constrição. No caso presente, é 1 o valor a considerar:

Tipo de exploração	Inclinação			Linha de menor resistência livre no fundo (fig. 5 (a))
	∞ : 1	3 : 1	2 : 1	
Por bancadas	1	0,9	0,85	0,75
Ataque em calote	0,8	0,7	0,7	0,6

Valores do factor de constrição — f

S — resistência de tiro, $S = 0{,}4 \pm 15\,\%$ (deverá ser determinado por ensaio)

d_b — diâmetro no fundo do furo em mm

p — coeficiente de compactação do explosivo = = 1 para condições normais de compactação com atacador não mecânico.

Fórmula de Langefors — Cargas verticais para desmonte em grandes massas

1.º — *Carga para um furo isolado*

a) *Carga de fundo*

Q_b — carga total de fundo em kg
l_b — carga de fundo por metro (kg/m)

Altura da carga de fundo = 1,3 V, em metros

$$l_b = 1{,}1 \frac{f}{s} (0{,}07\,V + SV^2)$$

$$Q_b = 1{,}3\,Vl_b = 1{,}4 \frac{f}{s} (0{,}07\,V^2 + SV^3) \text{ em kg}$$

$S = 0{,}4 \pm 15\,\%$ — resistência de tiro

b) *Carga distribuída*

Q_p — carga total distribuída em kg
l_p — carga distribuída, por metro (kg/m)

Altura da carga distribuída: K — 2V

$$l_p = 0{,}4 \frac{f}{s} (0{,}07\,V + SV^2)$$

$$Q_p = K - 2V)\, l_p =$$

$$= 0{,}4 \frac{f}{s} \left(\frac{K}{V} - 2\right) (0{,}07\,V^2 + SV^3) \text{ em kg}$$

c) *Carga total*

$$Q_t = Q_b + Q_p =$$

$$= 0{,}4 \frac{f}{s} \left(\frac{K}{V} + 1{,}5\right) (0{,}0\,V^2 + SV^3)$$

Para grandes alturas da frente na prática poderá considerar-se:

$$Q_t = SV^3$$

Nota: — O explosivo sueco LFB corresponderá, julga-se, a uma amonite ou saedite, cuja potência equivale a uma gelamonite a 15 %.

2.º — *Cargas para desmonte em bancada com 4 ou mais furos*

a) *Carga total por furo*

$$Q = \frac{E}{V}\, 0{,}8\, Q_t$$

b) *Carga total de fundo* (altura: 1,3 V)

$$Q_b = 1{,}1 \frac{f}{s} \frac{E}{V} (0{,}07\,V^2 + SV^3)$$

c) *Carga total distribuída* (altura: K — 2 V)

$$Q_p = 0{,}32 \frac{f}{s} \cdot \frac{E}{V} \left(\frac{K}{V} - 2\right) (0{,}07\,V^2 + SV)$$

Linha de menor resistência a empregar para furos com um diâmetro no fundo de d_b

e para $\frac{E}{V} = 1{,}3$ e altura da carga de fundo = 1,3V

$$V = \sqrt{0{,}9 \frac{sp}{fS} \left(\frac{db}{32}\right)^2 - 0{,}07 \frac{V}{S}}$$

Deverá tomar-se em atenção que o valor da resistência de tiro S da rocha deve ser determinado por ensaio em cada caso. Aconselha-se que a frente da rocha ensaiada seja o mais homogénea possível, isenta de diaclases ou fracturas importantes. Segundo o Manual on Rock Blasting, o mais simples processo de ensaio consiste em dispararem-se tiros simples com furos de 0,5 m de altura e 0,5 m para a linha de menor resistência.

Se o centro de gravidade da rocha é projectado de 0 a 1 m, considera-se a carga como suficiente.

Projecções a maior distância, como sejam 2, 4, 6 e 8 m indicam excesso de carga de 10, 20, 30 e 40 % respectivamente.

O valor de S a tomar deverá ser de 20 % superior ao calculado a partir da carga justamente insuficiente.

Na Suécia verificou-se que os valores de S se situavam em 0,4 ± 15 %.

Ensaios comparativos da determinação do valor de S, que fizemos nas pedreiras de Vilar, Miranda e Bemposta, não nos levaram a resultados coerentes, o que nos faz crer que o processo indicado tem pouco interesse prático, não proporcionando com facilidade resultados significativos.

O único processo que nos parece válido é o de fazer variar, durante a exploração da pedreira, os diversos parâmetros até se chegar à solução mais conveniente.

Processo de Galabru

Segundo P. Galabru, em «Les ouvrages d'art», para a determinação da distância mais conveniente à frente da pedreira deverá utilizar-se a fórmula de VIE, a qual com a nomenclatura da forma de Langefors, apresentada anteriormente, toma o seguinte aspecto:

$$V = \frac{\alpha K}{2B} \text{ em metros}$$

onde

α — resistência à tracção no plano de tiro, em ton/m².
K — altura da frente, em m.
B — resistência ao corte segundo o plano horizontal passando pela base dos furos.

Ainda segundo opinião de Galabru, em «Les ouvrages d'art», uma forma simples de abordar o problema do cálculo duma pega na prática será a seguinte: (fig. 7):

1.º — Determina-se a distância V do plano de furos à frente da pedreira pela fórmula de VIE e fixa-se a distância E entre furos entre V e 1,3 V.

O furo ultrapassará a plataforma da pedreira numa profundidade da ordem de 0,3 V.

2.º — Se, ao longo da zona a desmontar, a altura K da frente varia, calcular-se-á a carga de cada furo em função da massa a desmontar em concordância com esse furo, baseando-se para os primeiros tiros de ensaio num consumo médio de 60 a 80 g/ton. segundo a dureza da rocha e a potência do explosivo.

Na parte do furo onde se aplica a carga distribuída o explosivo poderá ser do tipo médio (moyennement brisant), mas para carga de fundo do tiro dever-se-á empregar um explosivo muito potente (très brisant) que ocupará uma extensão de 1,3 V.

O topo do furo, numa altura não inferior a V, não será carregado.

Conforme os resultados obtidos, serão corrigidos os dados da pega de ensaio.

Fórmula de Chalon

Há uma fórmula que tem um certo interesse, a fórmula de «Chalon», que se aplicou em França para furos até 5 m de altura (Les ouvrages d,art — Galabru).

Esta fórmula é estabelecida nas condições da distância do plano de tiros à frente da pedreira (h) corresponder a 2/3 da altura da frente (H) (fig. 8).

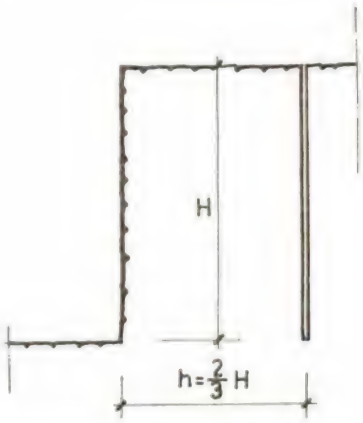


Fig. 8 — Relação entre a altura da frente e a linha de menor resistência, na Fórmula de Chalon

Essa fórmula é a seguinte:

$C = ERh^2$ onde
C — quantidade de explosivo em kg
h — linha de menor resistência, tomada como 2 3 da altura — H
E — coeficiente dependente das características da rocha

Estes coeficientes devem ser determinados por ensaios.

Os valores de E geralmente verificados são os seguintes:

0,7 para a dinamite goma — A
0,87 para a dinamite gelatinosa
1,25 para as chedites
2 para as pólvoras vulgares

R toma os seguintes valores:

0,30 rocha de dureza média — calcáreos e xistos
0,50 rochas duras — calcáreos duros
0,60 rocha muito dura — quartzites

Os coeficientes devem ser corrigidos por ensaio.

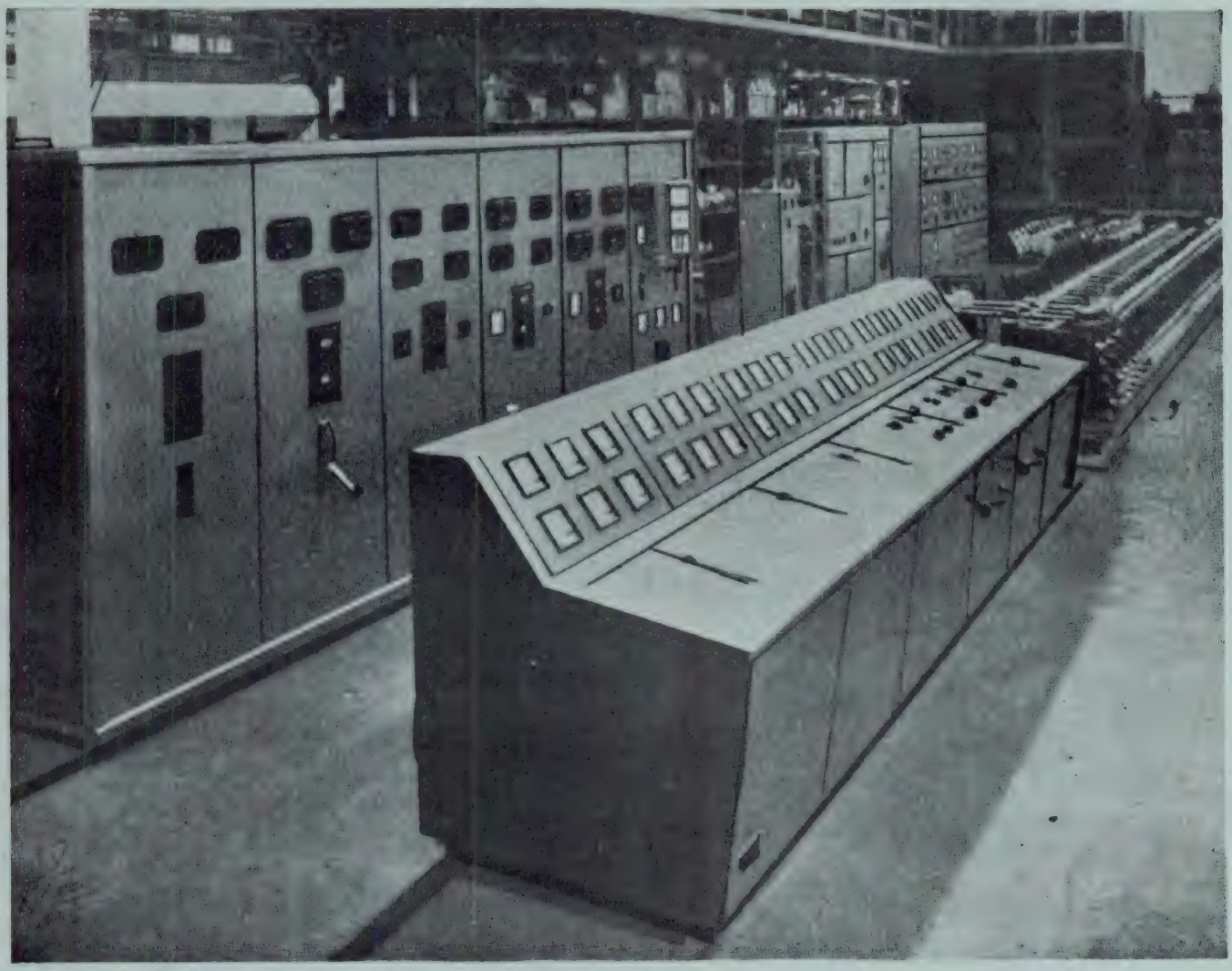
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.. 52093-52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

Fórmula para cargas concentradas

Para cargas concentradas, usou-se muito a fórmula seguinte:

$C = gR^3$ onde:

C — quantidade de explosivo em kg

g — parâmetro a determinar e que reflecte a influência da rocha e do tipo do explosivo. Varia entre 0,25 (dinamite de potência elevada e terreno fraco) e 0,80 (explosivo médio e rocha dura)

R — distância da carga à superfície (linha de menor resistência) em m.

4 — Observações ao desmonte

Até Março de 1964, não houve da parte da H.E.D. um acompanhamento íntimo da exploração da pedreira, pela falta de disponibilidade de pessoal superior que permitisse nesse campo uma colaboração útil com o empreiteiro. Dessa época em diante, já foi possível uma colaboração proveitosa.

Em Março de 1964, 8 meses após o início da exploração da pedreira, a altura da frente era de 22 metros (fig. 9). Na furação estavam a aplicar-se 4 perfuradoras de martelo solidário com a broca e dispositivo de rotação exterior ao furo.

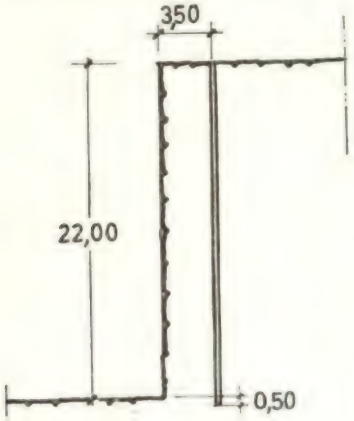


Fig. 9 — Pedreira de Vilar
Altura da frente e localização do plano de furação em Março de 1964

A distância (E) entre os furos era, em média, de 4,15 m (na pega de 19.2.964) variando entre 4,85 e 3,30 m. A distância média dos furos à frente da pedreira pretendia-se que fosse de 3,5 m. A distância real à frente de cada um dos furos, como dependia de singularidades do terreno, pela necessidade de colocação das máquinas, variava um pouco, executando-se alguns furos distantes da frente da pedreira 4,5 m e mesmo 5,0 m.

O número de furos a fazer por pega era, em geral, de cerca de 20.

No entanto, quando a pedra rareava, isto é, quando se verificava falta de pedra para o transporte, disparavam-se pegas com 15 e até com 10 tiros. Em média fazia-se uma pega de 6 em 6 dias.

Para se evitar o chamado «repé», isto é, para que a plataforma ficasse regular, na base da frente aplicaram-se os chamados furos de sapateira.

Estes foram na sua maioria feitos com martelos ligeiros, recorrendo-se ùnicamente às perfuradoras atrás referidas quando as distâncias da frente ao plano dos furos verticais, devido a irregularidades da frente, eram muito grandes.

A distância entre furos de sapateira era de cerca de 1,10 m.

Como exemplo, indica-se que na pega de 19 de Fevereiro de 1964, numa totalidade de 70 furos de sapateira, 13 foram feitos com as perfuradoras de ø 80 mm e os restantes com martelo ligeiro. A profundidade média dos furos foi de 3,6 m.

Há quem tenha a ideia de não ser necessário praticar os tais furos de sapateiras para evitar o «repé». Bastará para tal, que os furos verticais penetrem suficientemente abaixo da plataforma da pedreira, ou seja, cerca de 0,3 da distância do plano dos furos à frente da pedreira. Um ensaio em que não se aplicaram furos de sapateira não permitiu tirar conclusões favoráveis, pelo que se continuou a aplicá-los. Em todo o caso, não parece ilógico que a carga de fundo, desde que penetre suficientemente abaixo da plataforma da da pedreira, fracture bastante a rocha junto à plataforma, em termos de um buldozer ser capaz de a regularizar.

Poderá considerar-se que, em Vilar, ao prolongarem-se os furos verticais abaixo da plataforma da pedreira e ao praticarem-se os furos de sapateira se duplicaram, desnecessàriamente, os meios. Em Miranda, onde se utilizaram furos de sapateira, os furos verticais não atingiam a plataforma da pedreira.

Em Vilar houve, no entanto, a justificação de na última fase, a partir de Maio, se utilizarem

completamente as bases dos furos, na altura correspondente a 1,3 V, para a colocação do explosivo — o mais potente — gelamonite a 60 %, de tal forma os furos estavam já afastados. Isto é, *os furos foram prolongados abaixo da plataforma, não para se evitarem os furos de sapateira mas para se obter espaço para a colocação da carga de fundo, na sua posição mais conveniente.*

Os furos de sapateira têm, entre outros, o inconveniente de precisarem da frente completamente limpa para serem realizados (o que não acontece com os verticais) e os operários correm sempre um risco de serem colhidos pela queda de quaisquer pedras, a não ser que se usem meios de protecção especiais, pois nem sempre se pode sanear bem uma frente com dezenas de metros de altura.

Para a furação com martelos ligeiros nas sapateiras usa-se, normalmente, colocar o martelo e a barrena sobre uma tábua, sobre a qual se senta o marteleiro. Como este não está em posição de aplicar suficiente força sobre o martelo por si só, é auxiliado, para esse efeito, por um ajudante que se senta costas com costas com ele e que, fincando os pés, lhe serve de apoio para o impulso do martelo.

Segundo os suecos, a experiência indica que a carga de explosivo no fundo do furo deverá ser 2,7 vezes mais concentrada do que a distribuída ao longo do furo, para que possa ser vencida a resistência ao desmonte oposto pela rocha da plataforma. A carga de fundo deve ser distribuída a partir do fundo do furo numa altura igual a 1/3 V, como já se referiu.

Como se compreende, há uma certa interdependência entre a quantidade de explosivo a aplicar para o desmonte dum certo volume, o diâmetro dos furos, a distância à frente da pedreira e a distância entre os furos verticais.

Como a extensão do furo ocupada pelos explosivos é, normalmente, inferior ao comprimento total do furo, é necessário para a distribuição das cargas ao longo dos furos utilizar as chamadas cargas intercalares. Estas são, regra geral, constituídas por saibro que se deita no furo a granel, ou, preferìvelmente, embalado em plástico, formando uma espécie de chouriço.

A maior concentração de carga no fundo do furo consegue-se empregando-se nessa zona um explosivo de maior potência. A necessidade de distribuição das cargas explosivas num certo comprimento dos furos leva ao emprego de explosivos de várias potências como sejam gelamonite a 20 %, 40 % e 60 % e por vezes a amonite e saedite (estes são explosivos lentos e a sua potência corresponde a uma gelamonite a (15 %).

Em Março de 1964, o consumo específico médio de explosivo no desmonte, isto é, a quantidade de explosivos por m³ de rocha desmontada foi 260 g/m³ — explosivo expresso em gelamonite a 20 %. Cabe observar que em grande parte de publicações se indicam os consumos de explosivos sem aparecer qualquer referência ao seu tipo ou potência. No caso presente, o peso dos vários explosivos empregados era de 173 g/m³ (*).

5 — Taqueio

As dimensões da maior parte dos blocos obtidos no desmonte são muito superiores às que permitem a carga e o transporte. Deste modo, torna-se necessário fragmentá-los, operação a que se dá o nome de taqueio porque para ela se recorre ao emprego de explosivos e, por vezes, quando as pedras não são muito grandes, empregam-se pequenos «tacos» de explosivo. A furação para o taqueio é feita com martelos ligeiros e, dadas as grandes dimensões de algumas pedras, é necessário por vezes abrir furos de 2,4 m. Em Vilar, usaram-se brocas de um cortante com pastilha de aço tungsténio, como é de uso corrente.

O consumo específico de explosivos no taqueio, expresso num explosivo tipo gelamonite a 20 %, andava, antes de Março de 1964, por 60 g/m³. Numa pega em 19/2/964, o consumo específico foi de 57 g m³.

A dimensão das pedras obtidas no desmonte, se bem que dependente, em princípio, do consumo específico e da distância dos furos entre si, é também fortemente influenciada pela estrutura da pedra, especialmente pela distribuição e importância das diaclases.

(*) Para o cálculo da quantidade de gelamonite a 20 % a partir das quantidades gastas dos outros explosivos, consideram-se as seguintes equivalências:

gelamonite a 60 % . . .	1,9	gel. a 20 %
gelamonite a 40 % . . .	1,5	» » »
amonite	0,8	» » »

O número de martelos empregados no taqueio era normalmente de 3 ou 4.

No taqueio, a quantidade de explosivo gasto baixou, no decorrer de Março para 45 g/m³, expresso também em gelamonite a 20 %.

6 — Evolução do desmonte

Em fins de Março, altura em que já pudemos colaborar com o empreiteiro no estudo da exploração da pedreira, realizou-se uma pega de ensaio ocupando uma extensão de cerca de 91 metros. Em metade da pega, aplicou-se o método até então usado (isto quanto ao teor de explosivo e sua distribuição dentro do furo), e aplicaram-se sapateiras. Na segunda metade reduziu-se a carga de fundo e, consequentemente, o teor total, e não se utilizaram furos de sapateira, atingindo todos os furos cerca de 70 cm abaixo da plataforma da pedreira, medida que segundo a opinião de alguns permite prescindir das sapateiras. A distância entre furos era de 4,5 m e a distância à frente da pedreira 3,5 m.

O consumo específico de explosivo referido a gelamonite a 20 % e excluídas as sapateiras foi, no 1.º caso, de 205 g/m³, e no 2.º caso de 180 g/m³.

Depois da pega, verificou-se maior «repé» do que o habitual, mesmo na zona em que se empregaram sapateiras. Tal deve ter resultado de nestas se ter empregado cerca de metade da carga habitual — 17 g/m³, quando em média se empregaram 35 g m³.

Verificou-se igualmente que na zona da pega onde se utilizou menor quantidade de explosivos na carga de fundo, o desmonte também foi perfeito, à parte o que se refere ao «repé».

Em virtude do observado, decidiu-se manter as sapateiras e reduzir as cargas de fundo, isto é, aplicar de futuro uma carga de fundo inferior à que vinha sendo utilizada.

Deste modo, o teor de explosivo baixou para 185 g/m³, incluindo sapateiras, ou seja 160 g/m³ nos furos verticais e 25 g/m³ nas sapateiras.

Observa-se a propósito que, imediatamente antes de se começar com o controlo rigoroso, o consumo médio de explosivo no desmonte andava por 230 g/m³ (referido o explosivo a gelamonite a 20 %). A este consumo havia ainda a juntar o explosivo das sapateiras, em que se utilizavam entre 20 a 50 g/m³.

Em face dos bons resultados obtidos e da extensão ocupada pelas cargas nos furos ser relativamente pequena, decidiu-se afastar mais os furos entre si e da frente da pedreira. A distância do plano de tiros, à frente da pedreira aumentou de 3,5 para 4,0 m e a distância entre furos de 4,5 para 5,2 m, o que resultou numa redução de perfuração específica (excluindo as sapateiras) de cerca de 7 cm m³ para 5,5 cm/m³.

É natural que se obtivessem blocos maiores, esperando-se por esse facto gastar mais explosivo no taqueio. Mas, àparte esse aspecto, julgava-se favorecer o taqueio, pois este é mais fácil com blocos maiores, sendo natural a obtenção de pedras mais regulares e a redução das proporções em que aparecem elementos de pequenas dimensões o que interessava em Vilar, onde a pedra era, principalmente, para enrocamento.

Em tempos tinha-se tentado reduzir o taqueio diminuindo a distância à frente para 3 m e a distância entre furos para 4 m, mas não se conseguiram quaisquer benefícios.

Após o ensaio, verificou-se com certa surpresa que não foi necessário gastar mais explosivo no taqueio, apesar de ter aumentado a distância dos furos.

Mais tarde, em Maio, decidiu-se aproveitar totalmente a capacidade de carga dos furos, como tècnicamente se impõe, utilizando na carga de fundo apenas gelamonite a 60 %, o explosivo mais potente de que se dispunha. Reforçou-se proporcionalmente a carga distribuída e fez-se corresponder à carga total por furo assim obtida o volume de rocha indicado pelo cálculo, para o que se aumentou a distância à frente de 4 para 4,6 m e a distância entre furos de 5,2 para 6 m. Obtiveram-se bons resultados. Deste modo, a furação com a perfuradora utilizada no caso presente, cuja incidência no custo é muito importante, como veremos, teve nova redução, passando de cerca de 5,5 cm/m³ para 4 cm m³.

O consumo específico de explosivo no desmonte passou para 170 g/m³ (expresso em gelamonite a 20 %), incluindo o expositivo das sapateiras que continuámos a empregar.

A furação nas sapateiras reduziu-se um pouco pois os furos passaram a ser espaçados de 1,5 m, mas a carga reduziu-se muito; o consumo de explosivos baixou para 15 g/m³. Não se notou à vista que os blocos desmontados apresentassem dimensões superiores e o aumento de consumo

de explosivos no taqueio verificado a partir do fim de Maio é de atribuir, fundamentalmente, julgamos, ao crescimento das necessidades de agregados para betão e à grande quebra no ritmo de saída de enrocamento por se terem atingido as fases finais de lançamento na barragem, circunstâncias estas que se sobrepuseram nos seus efeitos.

A altura da frente variava então entre 18 a 25 metros ([1]).

Na prática, como a altura dos furos era variável, empregava-se a mesma carga de fundo para todos, visto esta só depender da distância à frente e entre furos, mas variáva-se a carga distribuída em função da altura, mantendo se apróximadamente a sua densidade, isto é, o teor de explosivo por m.l.. No quadro anexo dá-se um exemplo do plano de carga e do registo dos elementos que habitualmente era feito por cada pega.

Como se mostra nos esquemas que ilustram este quadro, havia, à boca de cada furo, um detonador ligado a um troço de cordão detonante que contactava todas as cargas até ao fundo do furo.

Tratando-se de desmonte com uma única fiada de furos todos estes eram detonados simultâneamente.

Resumindo:

Até fins de Maio, a experiência demonstrou que o consumo de explosivo pode situar-se nos seguintes valores, referidos a uma gelamonite a 20 %:

a) desmonte:

furos verticais	150 g/m³
sapateiras	15 a 20 g/m³

b) taqueio . . . . . 45 g/m³

([1]) Quando se teve de deixar de acompanhar temporàriamente o controlo da pedreira, o consumo de explosivos aumentou muito e mostrou grandes variações, por se deixar de atender no cálculo do explosivo, correspondente a cada furo, à distância à frente e aos outros furos, isto é, ao volume de rocha que interessava a cada furo, que não era em todos o mesmo devido às irregularidades do terreno e da frente. E além disso, sucedeu também que tendo os cálculos sido feitos para um explosivo tipo gelamonite 20 %, se aplicaram explosivos mais potentes sem se fazerem as respectivas reduções de quantidades.

Estes valores estavam bem, pois não se notavam grandes proporções de pedras grandes no desmonte.

A experiência demonstrou também que em ensaios persistentes e bem orientados é possível melhorar-se sempre e duma forma nítida as condições de exploração duma pedreira. Para isso, a exploração duma pedreira não poderá deixar de ser dirigida ao nível de engenheiro e com experiência.

7 — Crítica ao modo como foi explorada a pedreira

Como se disse, o processo de exploração duma pedreira deverá ser estudado de forma a conseguir-se o menor consumo de explosivos e a redução ao mínimo das despesas com a furação.

Para a obtenção desses resultados, dois elementos importantes há a estabelecer: a distância V do plano de furos à frente da pedreira, e a altura da pedreira. Este último elemento é em grande parte dependente da configuração da pedreira, mas depende do sistema de exploração, especialmente das máquinas que se empreguem na furação.

Vejamos como a distância V e a altura K condicionam o custo da exploração.

Partamos da fórmula de Langefors (Manual on Rock Blasting) para a discussão do problema.

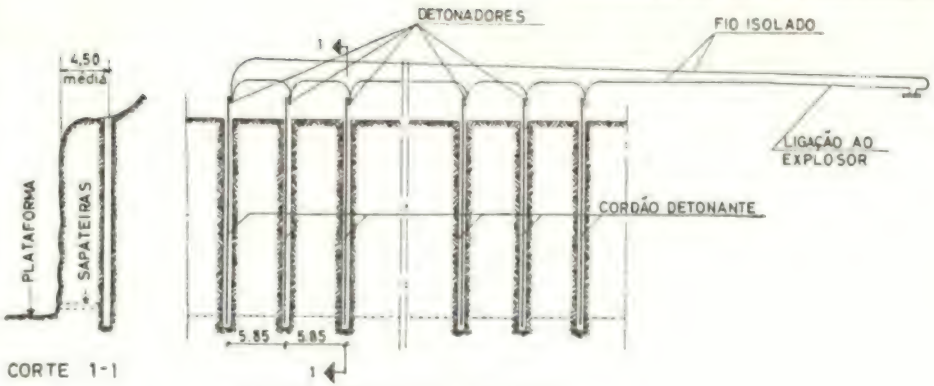
A carga total de explosivo correspondente a um furo, no caso do emprego simultâneo de vários furos, é dada, como vimos já, pela seguinte fórmula em kg:

$$Q = \frac{f}{s}\,\frac{E}{V}\,0{,}8\,(K + 1{,}5\,V) \times 0{,}4\,(0{,}07\,V + SV^2)$$

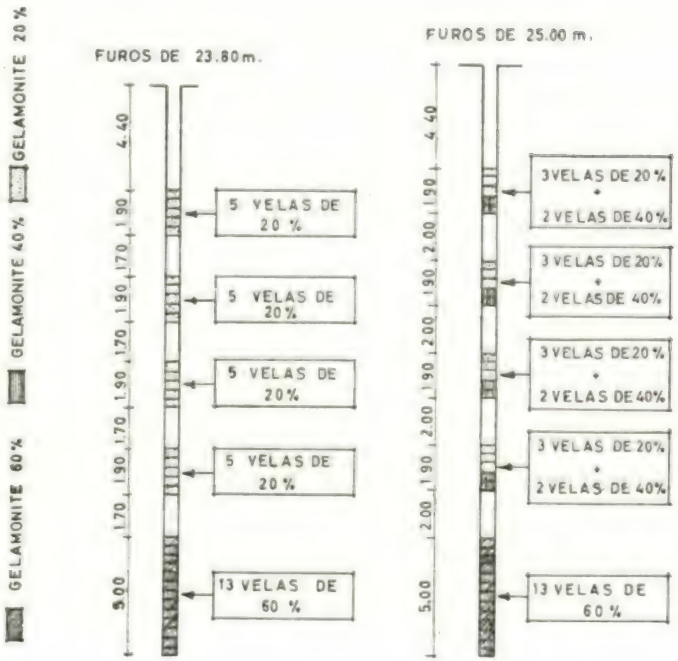
onde, lembramos,

- f — factor de constrição, toma o valor 1 para disparo em bancadas e fundo constrangido
- s — coeficiente de potência do explosivo, toma o valor 1 para a dinamite sueca LFB
- E — distância entre furos, toma-se em princípio com 1,3 V
- V — distância do plano dos tiros à frente da pedreira
- K — altura da bancada em m
- S — resistência de tiro: 0,4 ± 15 %

PEGA DE DESMONTE DE 19-5-64



ALÇADO DO PLANO DE TIRO



1- VOLUME TEÓRICO DE ROCHA DESMONTADA

V = 9 200 m³

2- ÍNDICES RELATIVOS AO DESMONTE

2-1 CONSUMO DE EXPLOSIVOS POR m³ DE ROCHA DESMONTADA

FUROS VERTICAIS	GEL. 20 %	<>	59.2 g/m³	
	" 40 %	<>	10.4 "	
	" 60 %	<>	45.2 "	114.8 g/m³
SAPATEIRAS	GEL. 20 %	<>	—	
	" 40 %	<>	8.3 g/m³	
	" 60 %	<>	—	8.3 g/m³
			TOTAL	123.1 g/m³

2-2 CONSUMO DE EXPLOSIVOS CONVERTIDO EM GELAMONITE A 20 %

FUROS VERTICAIS	<>	160,7 g/m³
SAPATEIRAS	<>	12.5 "
TOTAL		173.2 "

GEL. 20 %	<>	34 %
" 40 %	<>	16 %
" 60 %	<>	50 %

2-3 FURAÇÃO POR m³ DE ROCHA DESMONTADA

FUROS VERTICAIS — Ø 80 m m <> 0.042 m/m³

SAPATEIRAS { Ø 80 m m <> —
Ø 35 m m <> 0.021 m/m³

VEL. MÉDIA DE FURAÇÃO COM H.S. = $\frac{388.00}{123.08}$ = 3.1 m/h

3- ÍNDICES RELATIVOS AO TAQUEIO

3-1 CONSUMO DE EXPLOSIVOS POR m³ DE ROCHA DESMONTADA

GEL.	60 %	<> 8.0 kg.	<> 15.2 kg.	(GEL. 20 %)
"	40 %	<> 58.7 "	<> 88.1 "	(" ")
"	20 %	<> 156.3 "	<> 156.3 "	(" ")
AMONITE		<> 274.5 "	<> 219.6 "	(" ")
		TOTAL	479.2 "	(" ")

CONSUMO ESPECÍFICO = $\frac{479200}{9\,200}$ = 52 g/m³

3-2 FURAÇÃO POR m³ DE ROCHA DESMONTADA

$\frac{1930.20}{9\,200}$ = 0.210 m/m³

$\frac{1930.20}{330}$ = 5.85 m/h

Substituindo os valores indicados, a fórmula tomará a forma seguinte:

$$Q = 0{,}416\,[0{,}07\,VK + (0{,}4\,K + 0{,}105)\,V^2 + 0{,}6\,V^3]$$

Consideremos a cargo por unidade de volume de rocha desmontada:

$$Qu = \frac{Q}{1{,}3\,V^2\,K} \text{ ou seja}$$

$$Qu = 0{,}416\left(\frac{0{,}07}{1{,}3\,V} + \frac{0{,}4\,K + 0{,}105}{1{,}3\,K} + \frac{0{,}6\,V}{1{,}3\,K}\right) = 0{,}416\left(0{,}308 + \frac{0{,}07}{1{,}3\,V} + \frac{0{,}105 + 0{,}6\,V}{1{,}3\,K}\right)$$

A fórmula permite observar que, quanto maior é a altura da pedreira (K) tanto menor é a carga por unidade de volume de rocha desmontada, para um dado valor de V.

O primeiro problema a pôr-se é o seguinte:

Para uma dada altura da bancada (K) qual será a distância do plano de tiro à frente da pedreira (V) que deverá conduzir à carga mínima? Para obter o valor de V basta derivar Qu em ordem a V, igualar a O essa derivada e determinar o valor de V que satisfaz a equação obtida.

$$\frac{dQu}{dV} = 0{,}416\left(-\frac{0{,}07}{1{,}3\,V^2} + \frac{0{,}6}{1{,}3\,K}\right) = O$$

$$\frac{0{,}07}{1{,}3\,V^2} = \frac{0{,}6}{1{,}3\,K} \text{ donde } V = \sqrt{\frac{0{,}07\,K}{0{,}6}}$$

Para K = 20 m

$$V = \sqrt{\frac{0{,}07 \times 20}{0{,}6}} = \sqrt{2{,}32} = 1{,}5 \text{ m}$$

Assim o valor de V que conduz à menor quantidade de explosivo por m³ de rocha desmontada seria

$$V = 1{,}5\ m$$

Determinemos o custo das cargas correspondentes a vários valores de V para determinar a sua influência prática na variação das referidas cargas. Para uma altura de K = 20 m, bastante representativa para a pedreira de Vilar, os valores são os seguintes:

K = 20		
V m	Qu Kg m³	Custo correspondente
1	0,163	2$45
2	0,161	2$42
3	0,167	2$51
4	0,175	2$63
5	0,183	2$75
6	0,220	3$30

A conclusão a tirar é a seguinte:

Tendo em conta o custo do explosivo português do tipo correspondente ao sueco LFB, cerca de *15$00/kg*, com acessórios, a influência de V no custo expresso por m³ de rocha desmontada não é muito sensível na prática até os valores de V aplicáveis. Veremos que a influência do custo da furação é mais determinante que o custo do explosivo.

Considerando a distância entre furos como 1,3 V a furação por unidade de volume de rocha desmontada, em m, é dada pela fórmula:

$$Fu = \frac{K}{1{,}3\,V^2\,K} = \frac{1}{1{,}3\,V^2}$$, e considerando o custo da furação de ø 80 mm com as perfuradoras usadas no caso presente, teremos:

V m	$\frac{1}{1{,}3\,V^2}$ m/m³	Custo da furação
1	0,76	60$00/m³
2	0,19	15$00/m³
3	0,085	6$50/m³
4	0,048	3$70 m³
5	0,030	2$40/m³
6	0,021	1$60/m³

Somando os custos da furação e do explosivo correspondentes ao valor de V, ter-se-á:

V m	Custo do explosivo e da furação
1	62$45
2	17$42
3	9$00

V m	Custo do explosivo e da furação
4	6$33
5	5$15
6	4$90

A conclusão a tirar é que no caso presente, com o tipo de perfuradoras utilizadas (cujo m de furo custa cerca de 80$00), a influência do custo de furação é de facto superior à do custo do explosivo sobre o valor de V a escolher. Verifica-se também que, para além de V = 5 m, a influência de V no custo é muito pequena, não interessando pràticamente distanciar mais os furos.

Há um condicionamento que não pode ser esquecido para a distância do plano de furação à frente da pedreira V. É o do espaço oferecido pelos furos para a introdução da carga, que tem que ser suficiente para a quantidade de explosivo a empregar, descontando-se, evidentemente, o troço a contar do topo do furo com altura igual a V, no qual se não deve introduzir qualquer explosivo. Este aspecto tem que ser visto não só em relação à carga total, como em relação à carga de fundo. Foi este aspecto que veio a condicionar em Vilar o valor de V na parte final da exploração. *Não foi possível ir além de V = 4,6 m porque o espaço atribuído no furo para a colocação da carga de fundo — 1,3 V — estava já integralmente ocupado.*

Para o taqueio não se viu, em Vilar, que o maior espaçamento dos furos trouxesse qualquer aumento do seu custo. Mas em qualquer caso, se o maior espaçamento trouxer aumento do custo de taqueio, interessa comparar esse aumento de custo com a diminuição do custo do desmonte para se tomar uma decisão. A dimensão das pedras deverá depender mais da quantidade de explosivos do que do espaçamento dos furos, e muito da estrutura da rocha.

Em Vilar, verificou-se mesmo no aspecto taqueio a certa altura ser contraproducente apróximar demasiado os furos, verticais de desmonte, pois a rocha caía inteira como uma fatia em cada pega aumentando até o tamanho médio dos blocos a taquear.

A consideração do que acabamos de expor, logo no início da exploração da pedreira, podia ter levado a mais ràpidamente se ter chegado ao melhor valor de V a aplicar, e, portanto, às melhores condições tecno-económicas de exploração da pedreira.

Já não foi mau, no entanto, que este assunto fosse bem esclarecido nesta obra, e bastante antes da exploração da pedreira terminar.

Claro que as conclusões a que chegámos, isto é, o valor V aconselhável, dependerá do tipo de máquinas a utilizar na furação — do seu custo de furação. Esse custo, aliás, tem de estar presente para a escolha da máquina a empregar. Poderá, eventualmente, uma máquina diferente da perfuradora usada em Vilar para ø 80 mm conduzir a uma menor despesa embora obrigando a uma furação mais densa.

Vejamos o caso do martelo montado em «wagon drill» que foi utilizado na pedreira de Miranda. Aí, a altura da frente ia até 22 m. O diâmetro dos furos era de 50 mm.

O custo de trabalho para esse tipo de martelo é de cerca de 100$00/hora. Para uma velocidade prática de 4,83 m/hora o custo da furação é de 20$70/ml de furo.

No quadro seguinte apresentam-se os custos de furação da perfuradora usada em Vilar e do martelo montado em «wagon drill» usado em Miranda, para vários valores de V.

V (m)	Furação unitária $\frac{1}{1,3\,V^2}$ m/m³	Custo da furação por unidade de volume	
		Perfuradoras ø 80 mm 80$00/m	Wagon drill ø 50 mm 20$70/m
1	0,76	60$00	15$80
2	0,19	15$00	3$90
3	0,085	6$50	1$76
4	0,048	3$70	1$00
5	0,030	2$40	$62
6	0,021	1$60	$44

Os furos com perfuradora de 80 mm de diâmetro, tendo em conta a quantidade de explosivos a empregar, permitem uma distância máxima à frente (para o explosivo médio empregado) de 4,6 metros, para uma distância entre furos de 1,3 × V = 6,0 m. A correspondente área do furo é de 50 cm². No caso dum furo de 50 mm de diâmetro a área do furo é de 19,6 cm².

Dadas as proporcionalidades das áreas dos furos das rochas desmontadas, deduz-se que: V = 2,9 m.

Isto é, utilizando se uma perfuradora para ø 80 mm, a distância máxima à frente é de 4,6 m (para um certo tipo médio de explosivo); utilizando-se um martelo montado em wagon drill para ø 50 mm, esta distância será: 2,9 m. O custo de furação correspondente ao primeiro caso é de cerca de 3$00/ml e ao segundo caso 2$00/ml. Em conjunto com o preço do explosivo, tem-se 5$60 contra 4$50, respectivamente.

A confirmarem-se os valores obtidos de exploração das perfuradoras de ø 80 mm e dos martelos de ø 50 mm utilizados, a conclusão a tirar é que o emprego destes conduz a uma exploração mais económica, embora obrigue a uma maior densidade de furação.

Como se afirmou no princípio, este é também um aspecto importantíssimo a ter em consideração para o estudo duma pedreira, isto é, a escolha do tipo de máquina mais económica. Não se deve escolher uma máquina só porque se tem conhecimento da sua aplicação.

8 — Alguns elementos estatísticos referentes à exploração da pedreira de Vilar

Apresentam-se, seguidamente, elementos estatísticos que dizem respeito ao período de exploração normal da pedreira de Vilar, que decorreu entre Julho de 1963 e Dezembro de 1964.

Como já se disse, esta pedreira foi explorada tendo fundamentalmente em vista a construção duma barragem de enrocamento, em que as dimensões dos maiores blocos eram, na prática, limitadas apenas pela capacidade dos meios de carga e de transporte. Esta observação não pode deixar de ser tida em conta ao comparar os resultados obtidos com os de outras pedreiras, porventura destinadas a objectivos diferentes.

Destes elementos e da estimativa do custo unitário das diferentes operações baseado no controlo efectuado durante a exploração da pedreira, pode concluir-se qual a importância relativa dos principais factores que intervêm no custo total de desmonte e taqueio de 1 m³ de rocha «in situ».

Explosivo no desmonte	—	20 %
» no taqueio	—	5 %
Furação no desmonte	—	30 %
» no taqueio	—	35 %
Mão de obra (¹)	—	10 %
		100 %

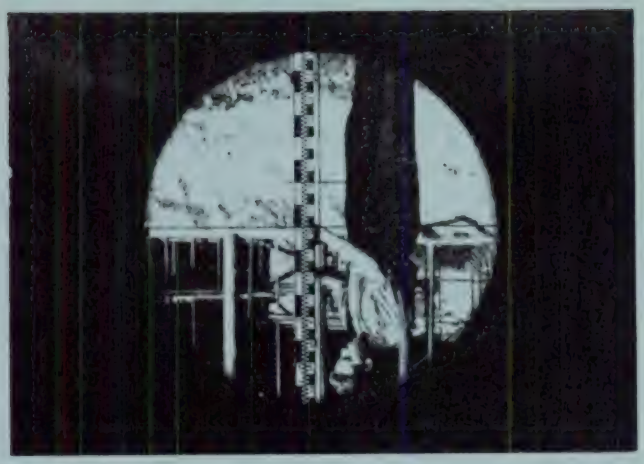
Vê-se que os factores de maior incidência no custo total e que merecem, por isso, mais atenção são as furações, seguidas do explosivo no desmonte.

A furação de taqueio revela-se, no caso presente, mais importante do que a de desmonte,

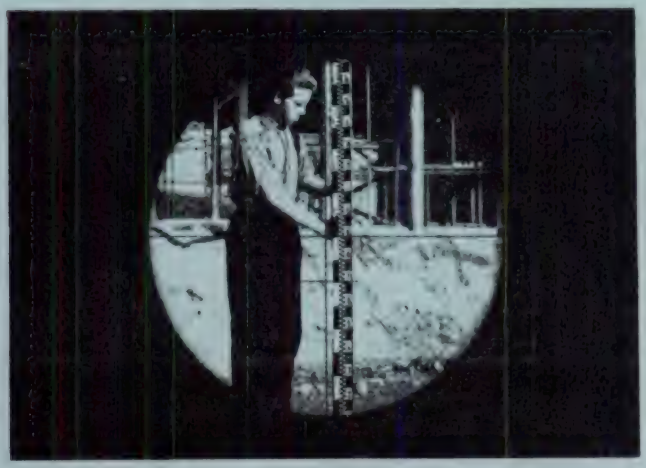
(¹) Sob esta designação considerou-se apenas a mão de obra geral de assistência à pedreira, não incluindo a que depende directamente da furação (marteleiro, ajudante de marteleiro, mecânico, serralheiro e soldador) e que foi considerada no custo das furações de desmonte e de taqueio.

Designação		Quantidades	
		Totais	Por m³, «in situ» de rocha desmontada
Volume de rocha «in situ» abatido no desmonte		296 000 m³	
Volume «in situ» removido para descoberta da pedreira		9 000 m³	
Furação com perfuradora de ø 80 mm no desmonte		16 000 m	5,4 cm/m³
Furação com martelo ligeiro	No desmonte (sapateiras)	9 000 m	3,0 cm/m³
	No taqueio	87 000 m	29,4 cm/m³
Explosivo convertido em gelamonite 20 %	No desmonte	61 000 Kg	206 g/m³
	No taqueio	21 000 Kg	71 g/m³
Energia eléctrica (compressores, oficinas, iluminação)		800 000 kWh	2,7 kWh/m³

ANTIGAMENTE :



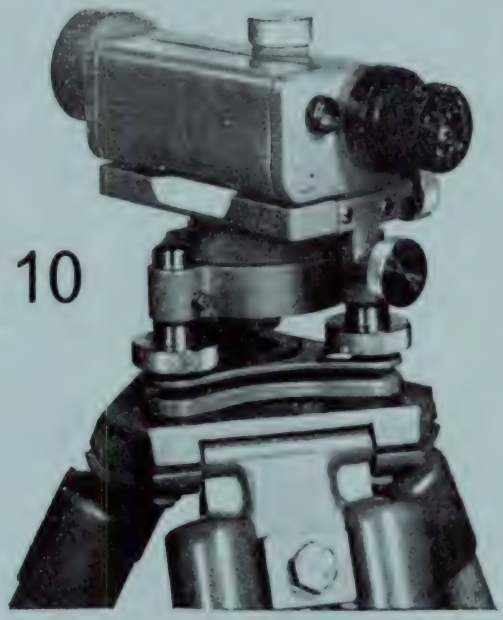
HOJE :



Com
imagem
direita
na luneta

WILD
HEERBRUGG

N 10



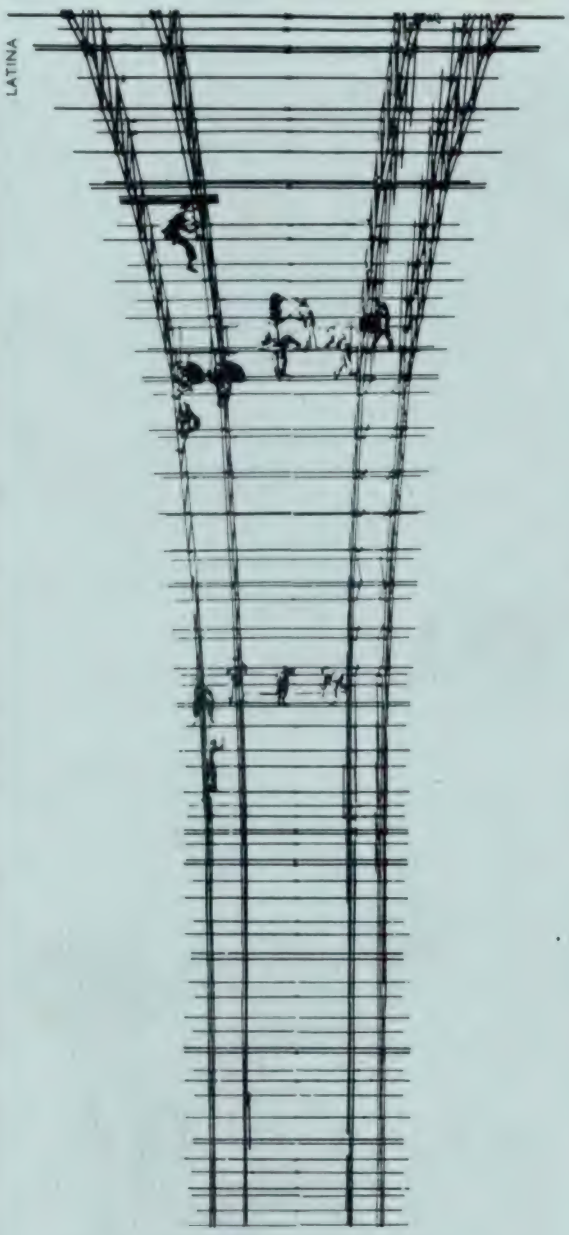
Trabalho cómodo e simples sem erros e sem dúvidas, sinais correctos, não invertidos, claros e rápidos.

O pequeno nível WILD N 10 com a designação «E» tem imagem direita do campo de observação na luneta. A mesma tem luminosidade igual ao modelo convencional e o mesmo tamanho.

Representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA-2 — TELEFONE 68 11 27



A INDÚSTRIA EXIGE BOSCH

Aparafusadoras · Rebarbadoras
Serras eléctricas · Berbequins

ROBERT BOSCH (PORTUGAL) LDA.

LISBOA - PORTO

Assistência Técnica em todo o país

J. A. ROBALO SEVERINO
L I M I T A D A

RÁDIO, TELEVISÃO
FRIGORÍFICOS
EQUIPAMENTO MUSICAL
ELECTRO DOMÉSTICOS
BRINDES
NOVIDADES
MENAGE

///

INSTALAÇÕES E REPARAÇÕES
ÁGUA - ELECTRICIDADE - GÁS

AVENIDA CINCO DE OUTUBRO, 54-A
TELEFONE 73 58 60 — LISBOA-1

EXPLOSIVOS DE FABRICO NACIONAL

TIPO segundo a consistência	FABRICANTE	DESIGNAÇÃO COMERCIAL	PREÇO (p/kg)	CARACTERÍSTICAS (a)															APLICAÇÕES (a)
				Densidade	Velocidade de detonação (m/s)	Bloco de Trauzl (cm3)	"Brisance"	Propagação (na areia) (cm)	Calor libertado (kcal/kg)	Factor energético (10³ kgm/kg)	Temperatura de detonação (°C)	VOLUME DOS GASES CO_2 (l/kg)	CH_2 (l/kg)	N_2 (l/kg)	O_2 (l/kg)	TOTAL (l/kg)	FUMOS	RESISTÊNCIA À HUMIDADE	
PULVERULENTO	Sociedade Portuguesa de Explosivos	Amonite 1	12$30	1,11	3600	400	37	8/10	830,7	3,54	2235	110,2	545,4	274,6	51,3	981,5	"Excelentes"	"Pobre"	Recomendáveis para pedreiras e desmontes, quando não haja exigências de potência ou se pretendem reduzidas densidades de carga. Razoável armazenamento.
		Amonite 5	12$30	1,08	3100	435	32	6/8	1132,0	4,94	2762	89,8	528,3	266,6	18,1	902,8	"Bons"	"	
		Amonite B	12$30	1,12	3100	400	29	6/10	608,0	3,45	2164	104,4	579,3	262,0	51,4	997,1	"Excelentes"	"	
	Sociedade Portuguesa de Streetite	Nitralite 'R'	14$50	1,08	3300	467	40	7/10	1281	3,20	3530	74,7	477,2	239,7	4,7	796,3	"Bons"	"Pobre"	Indicados em trabalhos de desmonte e de minas. São explosivos seguros e pouco sensíveis ao choque.
		Nitralite 'N'	13$50	1,11	3100	426	41	6/7	1168	2,88	3250	94,0	501,0	248,0	5,0	848,0	"	"	
		Nitralite 'F'		1,05	2750	435	31	4/5	1123	2,81	3100	97,4	506,2	242,9	5,0	851,5	"	"	
	Explosivos da Trafaria	Saedite B	11$50	1,11	3600	400	37										"Muito bons"	"Pobre"	Indicados na exploração de pedreiras e minas, para desmontes fragmentados, com Saedite B, e pouco fragmentados, com Saedite P.
		Saedite	11$50	1,08	3100	435	32										" "	"	
		Saedite P	11$50	1,12	3100	400	29										"Bons"	"	
PLÁSTICOS	Sociedade Portuguesa de Explosivos	Gelamon.20% NG	15$30	1,45	5000	430	63	10/12	1056,9	4,31	2672	183,3	432,2	227,8	15,0	858,3	"Bons"	"Fraca"	Indicados quando se requerem cargas mais concentradas que as facultadas pelas amonites. Recom. em trab. de avanço, pois o tufo não constitui problema mesmo com deficiente ventilação
		" 25% NG	16$30	1,47	5000	450	64	10/12	1071,6	4,37	2684	190,0	419,2	221,7	18,4	849,3	"	"	
		" 33% NG	18$30	1,48	5600	450	74	14/16	1003,1	4,28	2617	163,1	480,2	241,0	44,3	928,6	"	"	
		Gelamon.40% NG	19$80	1,49	5800	470	80	14/16	1043,3	4,46	2724	176,7	461,4	232,9	43,0	914,0	"	"Muito boa"	Recomendáveis em trabalhos onde se pretenda grande "brisance". A Gelaforcite é recomendada sobretudo em cargas submarinas.
		" 50% NG	21$30	1,50	5800	500	85	16/18	1097,3	4,68	2869	193,2	434,3	221,3	45,8	894,6	"	" "	
		" 60% NG	22$80	1,50	6000	525	93	16/18	1234,8	5,27	3175	233,2	400,7	204,4	24,0	862,3	"	" "	
		Gelafor.65% NG	25$30	1,50	6100	530	99	16/20	1300,6	5,55	3398	251,8	382,6	196,3	15,6	846,3	"	"Excelente"	
		Gelatina 35%	15$30	1,50	2900	430	22	12/14	603,4	2,57	2163	172,2	169,1	129,0	59,3	576,7 b)	"Excelentes"	"Regular"	Indicados quando se pretenda um explosivo de potência idêntica à da amonite mas com características da gelamonite.
		" 40%		1,53	3470	450	33	12/14	666,4	2,84	2339	163,7	189,3	137,4	62,6	667,7 b)	"	"	
		" 50%		1,58	3700	470	37	14/16	727,4	3,10	2387	160,3	257,3	160,8	62,8	677,7 b)	"	"Boa"	
		" 60%		1,61	4000	482	47	14/16	814,3	3,47	2506	153,9	322,8	182,6	60,1	748,7 b)	"	"	Aplicável em avanços, em carga de cones e repé das pedreiras.
		" 75%		1,61	4500	499	60	14/18	908,0	3,87	2535	167,6	399,3	201,1	51,1	833,2 b)	"	"	
		Gelatina-Alta velocidade 40%	19$80	1,53	4500	505	51	16/18	1078,0	4,60	3042	253,9	234,4	109,1	3,8	601,2	"Maus"	"	Só aconselháveis em trabalhos a céu aberto. Recomendáveis em tiros de repé ou em trabalhos que exijam boa concentração de carga.
		Gelatina-Alta velocidade 60%	22$80	1,53	5300	510	82	16/18	1410,0	6,02	3832	272,9	243,6	118,2	-	635,4 b)	"	"Excelente"	
	Explosivos da Trafaria	Goma 20% NG	15$00	1,45	5000	430	63										"Boas"	"Regular"	Para exploração de pedreiras, minas e abertura de galerias.
		" 25% NG	16$75	1,47	5000	450	64										"	"	
		" 30% NG	18$50	1,48	5200	440	71										"Muito bons"	"Boa"	
		" 40% NG	20$00	1,49	5800	470	80										" "	"Muito boa"	Recomendados nos casos em que se exijam maiores potências. Para avanços, abertura de galerias e túneis. As gomas a 60 e 65% prestam-se para aplicações submarinas.
		" 50% NG	21$50	1,50	5600	500	85										" "	" "	
		" 60% NG	23$00	1,50	6000	525	93										"Bons"	" "	
		" 65% NG	25$00	1,50	6100	530	99										"	" "	

a) Indicadas pelos fabricantes nos seus catálogos
b) Além de CO_2, CH_2, N_2 e O_2 outros, principalmente SO_2

facto este que se apresentaria ainda com maior evidência, se, desde o início da exploração da pedreira se tivesse adoptado o esquema de furação de desmonte (distâncias entre furos e destes à frente da pedreira) que se fez vigorar só na última fase dos trabalhos.

mesmo não sucede com a furação de taqueio, dependente, em grande medida, da experiência e do bom senso do pessoal que executa.

Por nos parecer de utilidade, juntamos um quadro com as características dos explosivos de fabrico nacional de que temos conhecimento.

A furação e o explosivo de desmonte podem controlar-se com facilidade, estabelecendo um plano de tiro criteriosamente estudado, de maneira a conseguir-se a máxima economia. Já o

Juntamos igualmente quatro fotografias que focam aspectos da frente de trabalho da pedreira, do equipamento de carga e transporte, duma fase de construção da barragem e desta já concluída.

C. D. U. 621.311.5/91

ELEMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL (*)

I — Breve nota mensal

O mês de Dezembro caracterizou-se pela ocorrência de elevadas precipitações. Em consequência do carácter favorável destas precipitações as afluências do mês foram sensivelmente superiores às médias, correspondendo-lhes uma probabilidade de serem excedidas da ordem dos 25 % e um coeficiente de produtibilidade de 1.38.

Por efeito deste regime de afluências, atingiu-se no final do mês um armazenamento de conjunto da ordem dos 1284 GWh (386 GWh no Alto Rabagão) o que representa, em relação ao início do mês, um acréscimo de 300 GWh.

Verificaram-se descarregamentos pràticamente durante todo o mês

As albufeiras de Paradela e Alto Rabagão atingiram o final de Dezembro com armazenamentos da ordem dos 40 % da sua capacidade, tendo as restantes albufeiras da Rede Primária atingido o pleno armazenamento correspondente a esta época do ano.

II — Elementos gerais

Acumulados desde 1 de Janeiro

	GWh 1964	GWh 1965	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	293,1	503,5	+ 72
Produção térmica (P_t)	89,1	0,0	— 100
Produção total (P_T)	382,2	503,5	+ 32
Energia recebida de empresas não pertencentes ao RNC (E_r)	0,6	5,3	—
Exportações (Ex)	1,0	0.0	— 100
Importações (I)	21,2	0,0	— 100
Saldo importador (S_I)	+20,2	0,0	— 100
Consumo em bombagem (C_b)(1)	—	27,9	—
Produção para consumos perman. (P_{cp}) (2)	392,0	401,8	(4) + 3,9
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) (3)	11,0	79,1	—
Total	403,0	508,8	+ 26
Coeficiente de hidraulicidade	0,31	1,38	—

NOTAS

(1) Energia consumida em bombagem para armazenamento na Albufeira do Alto Rabagão.

(2) A produção para consumos permanentes (P_{cp}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{cp} = P_T + E_r + S_I - C_b - P_{cnp}$

(3) Consideram-se consumos não permanentes, os indicados em 4.2

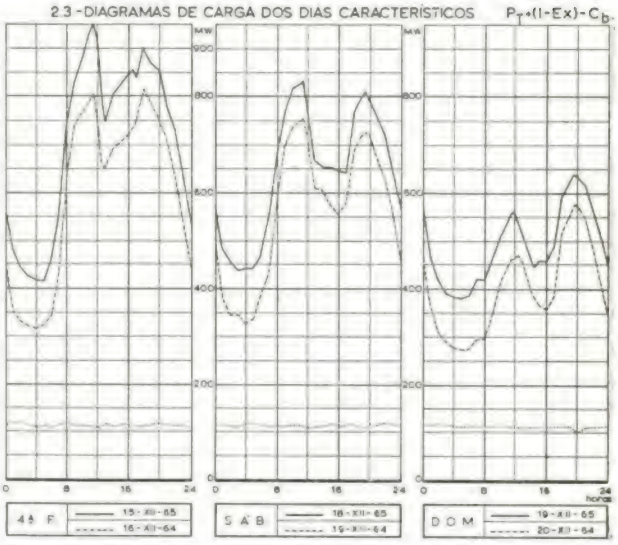
(4) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 2,0 % e 11,9 %.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª feira: 1964	4.ª feira: 1965
Produção hidráulica		(P_h) MWh	11296	17941
Produção térmica		(P_t) MWh	3166	0
Produção total		(P_T) MWh	14462	17941
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	55	0
	Import.	(I) MWh	154	0
Consum em bomb. hidroel.		(C_b) MWh	0	800
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	14185	14474
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	376	2667
TOTAL		$P_T + (I-Ex)$ MWh	14561	17141
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência máx. MW	814	949
		Potência mín. MW	318	416
		Utiliz. da ponta horas	17,9	18,1
		Factor de carga	0,75	0,75
	P_{cp}	Potência máx. MW	798	839
		Potência mín. MW	303	306
		Utiliz. da ponta horas	17,8	17,3
		Factor de carga	0,74	0,72

DEZEMBRO

2.3 - DIAGRAMAS DE CARGA DOS DIAS CARACTERÍSTICOS $P_T+(I-Ex)-C_b$



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês GWh	No fim do mês % (1)
Alto Rabagão	385,6	39,6
Paradela	98,9	44,4
Venda Nova	116,5	91 0
Salamonde	24,9	90,2
Caniçada	32,5	98,2
Vilar	92,5	99,9
Cabril	298,6	88,0
Castelo do Bode	143,7	88,2
Guilhofrei	8,2	98,8
Lagoa Comprida	8,7 (2)	18,4
Santa Luzia	51,3	83,3
Pracana	12.0	93,0
Póvoa	10,7 (3)	86,5
Total { com A. Rabagão . . .	1284,1	60,9
Total { sem A. Rabagão . . .	898,5	79,1

NOTAS

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras,

(2) Inclui 3,4 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 3,3 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 1,2 GWh armazenados no açude do Poio no início do mês e 1,7 GWh no fim do mês.

(*) *Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.). As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

inform

Hartmoltopren
na
construção
civil

BAYER

Hartmoltopren - o material moderno para a arquitectura

Placas exteriores, de côr, com núcleo de Hartmoltopren, numa casa de habitação e de negócio.

A construção civil moderna é caracterizada pelo desenvolvimento de prosessos novos que economizam tempo e dinheiro, e de novos materiais que permitem a fabricação em série de elementos de construção normalizados. O Hartmoltopren um material celular da Bayer, corresponde em especial a tais exigências da economia e da técnica.

Construção leve, ideal.

Em combinação com chapas finas de cobertura, de plástico, metal ou madeira, o plástico celular da Bayer «Hartmoltopren» permite à fabricação em série de elementos de construção «sandwich» com medidas exactas. Servem de elementos de construção de dimensões maiores para fachadas; graças ao seu reduzido peso podem ser colocadas sem esforço, ràpidamente e sem auxílio técnico especial. Pelo mesmo processo podem ser construidas «células húmidas» e colocadas como uma única peça no corpo do edifício.

A figura mostra a colocação de elementos prèfabricados duma parede. As espessuras dos paineis, com Hartmoltopren e cobertura de chapas de aço, são de 60 e de 80 mm. Cabos e tubagem passam pelo meio dos paineis. Ao encher o espaço oco entre as chapas, com espuma de Hartmoltopren, foram reservadas as respectivas cavidades.

Colocação duma placa de preenchimento (2,5 x 1 mm); chapa de cobertura de ambos os lados: Dural esmaltado (1 mm), quadro: perfis de metal leve, 30 mm de Hartmoltopren.

Excelente efeito isolante.

Uma camada de material celular com a espessura de 4 cm corresponde a uma parede tijolo de cerca de 70 cm! Assim o Hartmoltopren é o melhor isolante até hoje conhecido para deter o calor e o frio. Do mesmo modo que na construção de peças ligadas o Hartmoltopren pode ser aplicado com êxito também sobre paredes e tectos, no próprio local, isolando igualmente paredes fixas.

Resistência a influências exteriores.

Os excelentes valores mecânicos de resistência à pressão e ao cisalhamento, o módulo de rigidez e o alongamento de rotura contribuem para que a construção de peças ligadas, com núcleo de Hartmoltopren resista a provas de grande pressão e de tracção e não empene. São, por isso, especialmente apropriadas para a aplicação como parede exterior.

Assim o Hartmoltopren proporciona à construção civil inúmeras e interessantes possibilidades. As vantagens de ordem técnica e económica fazem deste plástico celular da Bayer um material de construção interessante especialmente para a arquitectura.

Mande, por favor, o boletim aos nossos representantes e receberá mais material informativo interessante.

Firma: _____

Nome: _____

Endereço: _____

hartmoltopren

S.A.R.L. QUIMICOR,
Representante em Portugal
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3
Tel. 421 490
Porto: Rua de Santos Pousada, 421
Tel. 541 41

3430

BOMBAS

Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kg cm²

AÇO BI

Tensão de segurança 4.000 Kg/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º Dt.º

TELEFONES 67 12 24 5 E 67 37 85 — LISBOA

Prédios, empenas, caves. Depósitos para águas, vinhos e aguardentes

Facultam-se certificados de ensaio dos Laboratórios Nacional de Engenharia Civil e da Junta Nacional do Vinho.

«IMPERMEÁBILIS»

O impermeabilizante oficialmente aconselhado em todas as argamassas de cimento

REVENDEDORES EM LISBOA:

João Pereira Vareiro & Filhos, Lda.
Rua Augusto José Vieira, 12 — Telef. 84 74 80

Manuel Pereira Matias, Lda.
Rua de Pedrouços, 105-A — Telef. 61 11 53

Manufacturas de Cimento Fortex, Lda.
Estrada de Benfica, 727 — Telef. 70 21 75

Sequeira & Santos, Lda.
R. José Joaquim Marques, 113—Tel. 230105—MONTIJO

Distribuidor geral para todo o Império Português:

ANSELMO DE MATOS

Av. Almirante Reis, 179, r/c — Telef. 4 64 39

LISBOA 1

RENOLUZ

O TECTO PLÁSTICO EM ESTEIRA CONTÍNUA E EM QUADRADOS

DIFUSOR DE LUZ

ECONÓMICO
O SUB-TECTO IDEAL QUE EVITA OS ACABAMENTOS SUPERIORES

EFICIENTE
TOTAL AUSÊNCIA DE SOMBRAS

DECORATIVO
UMA FORMA DE DECORAÇÃO HARMONIOSA E PRÁTICA

ORÇAMENTOS GRÁTIS

RENOR

RUA D. ESTEFÂNIA, 155-C — END. TELEGRÁFICO RENOLE — TELEFONE 53 77 54 - 73 57 49 — LISBOA - PORTUGAL

C. D. U. 624.159.11.002:621.13

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES DE MÁQUINAS

IV

FUNDAÇÕES DE MÁQUINAS ROTATIVAS

por ARTUR RAVARA
Estagiário para especialista da
Divisão de Mecânica Aplicada do
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

SUMÁRIO

O presente artigo é o 4.º de uma série subordinada ao título «Dimensionamento de fundações de máquinas».

Apresenta-se o estudo de fundações aporticadas de betão armado, características das máquinas rotativas de alta velocidade, tais como turbinas, alternadores, motores eléctricos, centrifugadores, etc.

Indicam-se as disposições construtivas e estruturais a que as fundações devem obedecer. Analisam-se as solicitações dinâmicas desenvolvidas e os valores admissíveis para as amplitudes de vibração.

Apresenta-se o cálculo das oscilações forçadas, verticais e transversais, da fundação, com base nos elementos da Teoria das Vibrações expostos em artigos anteriores e recorrendo a hipóteses simplificativas em que se reduz a estrutura a osciladores de 2 e 3 graus de liberdade.

Finalmente particularizam-se os principios expostos numa aplicação numérica de cálculo da fundação de um grupo turbo-gerador de 1500 kW.

SYNOPSIS

The present article is the fourth of a series entitled «Design of machine foundations».

Reinforced concrete frame foundations for high speed rotative machinery such as turbodynamos, electric motors, turbogenerators, are here studied. Instructions for design and construction are presented. Exciting loads imposed by this type of machines are established mostly through empirical rules. Permissible vibration amplitudes are indicated.

Analysis of vertical and horizontal forced vibration is performed assuming the structure to behave as a two or a three degre-of-freedom oscillator.

Finally the design methodes presented are applied to a pratical problem: foundation for a 1500 kW turbogenerator.

1. GENERALIDADES

1.1 — Tipo de fundação mais corrente

Em máquinas rotativas de alta velocidade, tais como turbinas, dinamos de grande potência, alternadores, centrifugadores, motores eléctricos, caracterizadas por regimes de carga sensìvelmente uniformes, empregam-se correntemente fundações aporticadas em betão armado.

Este tipo de fundação facilita consideràvelmente o acesso e inspecção dos vários órgãos das máquinas, permitindo ainda a fácil instalação de equipamento acessório, como tubagens, ligações, condutas, etc.

O uso de fundações aporticadas estende-se em certos casos às máquinas alternativas, particularmente compressores; no entanto, para máquinas deste tipo a rigidez dos elementos da fundação é tão grande que estas se assemelham mais a blocos, devendo ser calculadas como tal.

Empregam-se fundações aporticadas mesmo para máquinas de grande potência (100.000 kw). São muito mais económicas que as correspondentes fundações maciças e menos sujeitas a fendilhação por variações de temperatura ou por assentamentos.

1.2 — Especificações necessárias ao estudo da fundação

Tornam-se necessários os seguintes elementos:

1 — características do terreno de fundação;
2 — dimensões e localização de aberturas destinadas a condutas, ligações, parafusos de fixação, etc;

3 — localização da máquina no edifício;
4 — potência e velocidade da máquina;
5 — características das cargas estáticas e dinâmicas impostas à fundação (amplitude, direcção, sentido e ponto de aplicação);
6 — distribuição das condutas percorridas por fluídos quentes e da temperatura nas respectivas superfícies.

1.3 — Constituição e dimensionamento das fundações

Uma fundação aporticada é geralmente constituída por 3 ou mais pórticos transversais encastrados inferiormente numa placa espessa e ligados superiormente por vigas longitudinais solidarizadas por uma placa com as aberturas necessárias à instalação da máquina. A estrutura pode complicar-se com a existência de placas verticais ligadas aos montantes dos pórticos ou de pórticos de vários andares. Desde que haja grande abundância de elementos estruturais, que tornem a fundação muito rígida e altamente hiperestática, é mais lógico assemelhá-la a um bloco rígido assente sobre um meio elástico.

A fundação aporticada deve assegurar formas de vibração simples e transmitir ao solo um regime de tensões fácil de determinar. Para isso, devem observar-se as seguintes regras na concepção da fundação:

A geometria e rigidez dos elementos da fundação devem ser o mais simples possível e apresentar simetria em relação ao plano vertical que contém o eixo de rotação da máquina.

As travessas dos pórticos devem ser colocadas sob as chumaceiras, para que a força centrífuga desenvolvida pelo funcionamento da máquina se transmita directamente aos pórticos. Devem ainda dispor-se de modo a evitarem cargas excêntricas que dêem origem a momentos de torção consideráveis.

A secção mais indicada para as diversas vigas é a rectangular ou a secção em T. A dimensão mínima das secções dos elementos estruturais que não estão directamente carregados deve ser 15 cm para placas e 25 cm para vigas. Para aumentar a rigidez do conjunto, devem dispor-se esquadros na ligação de todas as vigas.

Ainda que normalmente as máquinas rotativas, bem equilibradas, não transmitam vibrações aos edifícios, podem transmiti-las a elementos isolados, como pilares, paredes e pavimentos. É aconselhável, sobretudo no caso de máquinas de alta velocidade (3.000 r.p.m.) separar completamente a plataforma superior do pavimento adjacente, bem como assentar os pilares sobre vigas ou sapatas independentes da fundação do edifício.

Em máquinas rotativas de baixa velocidade, de frequência muito inferior à frequência própria das fundações e outros elementos estruturais dos edifícios, não é necessário isolar a fundação.

Os elementos da plataforma superior da fundação devem ter frequências próprias muito superiores às da máquina. A placa superior deve ser limitada por uma cinta periférica ligada aos topos das vigas longitudinais e das travessas dos pórticos. Na intersecção das diversas vigas, a altura destas deve ser de 60 % a 75 % do respectivo vão intermédio.

O centro de gravidade da máquina e da fundação devem estar contidos na vertical que passa pelo centro da base. Em caso nenhum a excentricidade em qualquer direcção deverá exceder 1 a 2 % da dimensão da base segundo a mesma direcção.

Verifica-se que a placa inferior da fundação, desde que esteja correctamente dimensionada, não transmite vibrações sensíveis ao solo, pelo que se considera um regime de tensões no solo puramente estático. Não há pois necessidade de reduzir a tensão admissível no solo devido à existência de cargas dinâmicas.

A espessura da placa inferior da fundação varia com a potência da máquina, conforme se indica no quadro 1:

QUADRO I

Variação da espessura da placa inferior em função da potência da máquina

Potência (KW)	Espessura da placa inferior (m)
Até 6.000	0,8 a 1,2
6.000 a 12.000	1,2 a 1,6
12.000 a 25 000	1,6 a 2,0
> 25.000	2,0 a 4,0

Verifica-se que a profundidade da fundação dos pórticos não influi na propagação de vibrações. No entanto, a placa inferior de fun-

dação deve estar suficientemente afastada de fundações contíguas de modo a não haja interacção considerável dos respectivos bolbos de pressões, o que poderia dar origem a assentamentos não uniformes.

As condutas de vapor aquecido devem ser convenientemente isoladas em toda a extensão em que estejam mergulhadas na fundação, de modo que a temperatura na superfície exterior da conduta não exceda 40 a 50 °/₀C; caso contrário, podem desenvolver-se tensões consideráveis.

1.4 — Materiais de fundação

As fundações deste tipo são de betão armado. A resistência à rotura por compressão aos 28 dias do betão deve ser no mínimo de:

placa inferior de fundação: $R_{28} = 90$ kg/cm²
restantes elementos de fundação: $R_{28} = 150$ kg/cm²

O betão deve ter uma consistência plástica, com pouca água.

Quanto às armaduras dos diversos elementos, deve observar-se o seguinte:

A placa inferior da fundação deve ser armada com uma rede tridimensional de varão de 8 ou 10 mm de diâmetro, afastado de 50 a 60 cm. Para placas de altura inferior a 1 m, a armadura deve estender-se a toda a altura da placa. Se a altura for superior a 1 m, é lícito suprimir metade da armadura na metade inferior da placa. Os varões devem terminar por ganchos.

Os montantes e travessas devem ser dupla e simètricamente armados, no mínimo com 30 kg de ferro por m³ de betão. A distância entre estribos não deve exceder 35 cm em montantes e 25 cm em travessas e vigas longitudinais.

As armaduras devem ser reforçadas sempre que haja redução nas secções, por aberturas de furos ou roços.

A placa superior deve ser armada de acordo com os esforços que nela se desenvolvem.

1.5 — Disposições construtivas

A betonagem deve ser muito cuidada, sendo todo o betão vibrado por meios mecânicos. Deve processar-se por camadas sucessivas sem interrupções. Se não for possível evitá-las, devem fazer-se na betonagem da zona superior da placa inferior de fundação ou no terço inferior dos montantes dos pórticos, onde o momento flector tem o valor mínimo. No primeiro caso devem tomar-se as seguintes medidas: — embeber varões adicionais de 16 mm de diâmetro e 1 m de comprimento na superfície betonada, à profundidade de 0,50 m e afastados de cerca de 0,20 m; — picar a superfície da junta, limpá-la muito bem e cobri-la com uma camada de 2 cm de argamassa de cimento ao traço 1:2.

Na altura da montagem da máquina, as superfícies de contacto entre a fundação e a máquina devem ser cuidadosamente regularizadas e cobertas com uma camada de 2 cm de espessura de argamassa de cimento ao traço 1:2.

2. SOLICITAÇÕES DINÂMICAS IMPOSTAS PELAS MÁQUINAS ROTATIVAS

As solicitações dinâmicas que se desenvolvem nas máquinas rotativas devem-se à impossibilidade de o centro de gravidade do rotor coincidir exactamente com o eixo de rotação da máquina e à existência de folgas entre o veio e as chumaceiras. Qualquer das causas leva à existência de forças centrífugas de difícil quantificação.

Dada a elevada velocidade destas máquinas, podem surgir forças consideráveis para folgas ou excentricidades da ordem dos micron.

Para uma máquina com um rotor de massa m_0 girando a uma velocidade angular w, se for r_0 a excentricidade devida a uma das causas apontadas, as componentes vertical e horizontal da força centrífuga, situada num plano normal ao eixo da máquina, serão, respectivamente:

$$F_z = m_0 \, r_0 \, w^2 \text{ sen } wt$$
$$F_x = m_0 \, r_0 \, w^2 \cos wt$$

Sendo l a distância, medida ao longo do eixo da máquina, entre o centro de gravidade do rotor e o centro de gravidade do conjunto máquina — fundação, desenvolve-se um momento de valor.

$$M = F.l$$

Normalmente, pode desprezar-se a componente M_x do momento e considerar-se apenas a componente

$$M_z = F_x \, . \, l \qquad (2)$$

É possível determinar a excentricidade r_o a partir da medição de vibrações antes e depois de equilibrar a máquina:

Consideremos uma máquina rotativa onde se desenvolve uma força centrífuga F_o que impõe às fundações uma vibração de amplitude A_o. Equilibre-se a máquina com um contrapeso que produz uma força centrífuga F, em consequência do qual a amplitude baixa para a valor A.

Será:

$$F_o - F = \frac{A}{A_o} F_o$$

ou seja:

$$F_o = \frac{A_o}{A_o - A} F \qquad (3)$$

A equação (3) permite determinar o valor da força inicial F_o, a partir da medição das vibrações antes e depois de equilibrar a máquina; o valor da excentricidade inicial será então:

$$r_o = \frac{F_o}{m_o w^2} \qquad (4)$$

Barkan [1] efectuou por este processo um grande número de determinações da excentricidade r_o em turbinas de vários tipos e potências. Concluiu que a excentridade varia com a potência e com a velocidade da máquina e que é lícito adoptar em 1.ª aproximação o valor

$$r_o = \frac{500}{N^2} \text{ metros} \qquad (5)$$

sendo N a velocidade da máquina, em r. p. m.

3 — RIGIDEZ DA ESTRUTURA APORTICADA

3.1 — Módulo de elasticidade do betão em regime dinâmico

O módulo de elasticidade do betão em regime dinâmico corresponde, como se sabe, ao valor $d\sigma/d\varepsilon$ tomado na origem, sendo:

σ — tensão axial
ε — extensão axial respectiva.

Este valor aumenta com a frequência das vibrações. No caso de máquinas rotativas de alta velocidade é sensìvelmente superior ao que se admite geralmente em regime estático. Varia pouco com a composição do betão e aumenta com a idade deste.

Considera-se o valor médio

$$E = 3 \text{ a } 3{,}5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

3.2 — Rigidez dos elementos dos pórticos

Não é lícito, para efeitos de análise dinâmica e particularmente para o cálculo de frequências próprias considerar os pórticos reduzidos aos eixos da travessa e dos montantes, como é corrente, porque as dimensões das secções são consideráveis em relação à altura e ao vão do pórtico.

Normalmente o valor de l_o (fig. 1) excede em cerca de 25 % o de l_1. Como as expressões que dão o valor das flechas são proporcionais à 3.ª ou 4.ª potência do vão e da altura, estas grandezas têm que ser bem quantificadas. Devem empregar-se valores de cálculo l e h, tais que: [1]

$$\begin{aligned} l &= l_o - 2\alpha b \\ h &= h_o - 2\alpha a \end{aligned} \qquad (6)$$

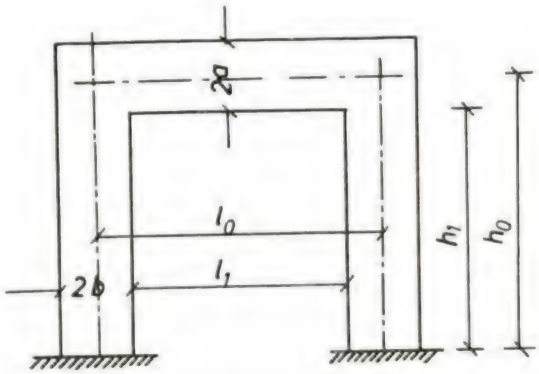


Fig. 1 — Dimensões de cálculo do pórtico

sendo:

2a — altura da travessa
2b — largura do montante
α — coeficiente dado na fig. 2

Na ocorrência de esquadros, os valores de a e b são os indicados na fig. 3.

3.3 — Rigidez da laje superior

A laje superior é nervurada por vigas longitudinais, pelas travessas dos pórticos e pela cinta periférica. É uma estrutura muito rígida em relação a esforços horizontais, considerando-se no cálculo de vibrações horizontais como infinitamente rígida, o que não envolve erros de monta.

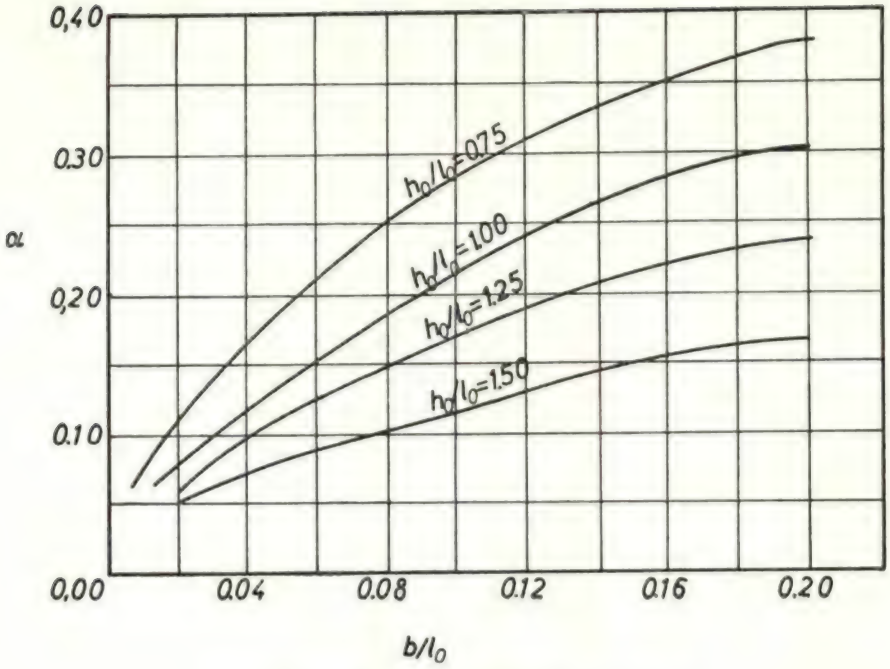


Fig. 2 — Gráfico para determinação de α (eq. 6)

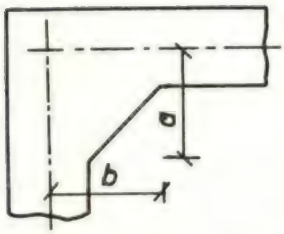


Fig. 3 — Valores de *a* e *b* (eq. 6) em pórticos com esquadros

4 — CÁLCULO DE VIBRAÇÕES FORÇADAS VERTICAIS

Atendendo ao exposto nos parágrafos anteriores, o estudo dinâmico duma fundação aporticada reduz-se ao cálculo das amplitudes de oscilação forçada de um pórtico tridimensional encastrado numa placa rígida, assente sobre um meio elástico, o solo.

O estudo completo duma estrutura deste tipo é muito trabalhoso, pelo que na prática, mediante certas aproximações, se simplifica consideràvelmente.

4.1 — Hipóteses simplificativas

Assim, para vibrações verticais, as deformações mais sensíveis verificam-se nas travessas dos pórticos transversais. Se a frequência forçada não for muito superior à frequência própria inferior do pórtico, o modo de vibração é o que se indica na fig. 4. A influência da rigidez das vigas longitudinais, para este tipo de vibração, é reduzida. Consideram-se então os pórticos transversais independentes uns dos outros.

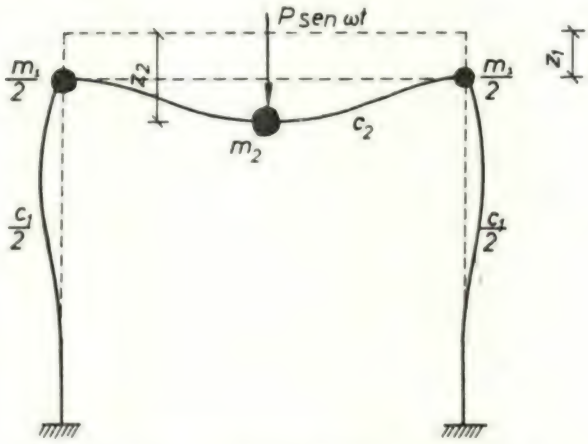


Fig. 4 — Modo de vibração corrente num pórtico transversal

Desprezamos igualmente, para este tipo de vibrações, as forças de corte e a inércia de rotação dos elementos do pórtico.

A rigidez do solo tem grande influência sobre a frequência própria do conjunto, alterando-a de valores que atingem 10 a 20 %

Por outro lado, em regra a frequência forçada, w, das máquinas rotativas em estudo, está compreendida entre a frequência própria da fundação, suposta um bloco rígido sobre um meio elástico, f_z, e a frequência própria mais baixa do pórtico, suposto assente sobre um meio rígido, f_1, segundo a relação:

$$f_z < w < f_1 \qquad (7)$$

Para máquinas de baixa velocidade a frequência forçada é inferior e pode verificar-se a relação

$$w < f_z < f_1 \qquad (8)$$

Considerando o sistema real, formado pelo pórtico encastrado na base, assente sobre o solo elástico, as 2 frequências próprias inferiores f_z^* e f_1^* estão relacionadas com w, f_z e f_1 segundo a relação:

$$f_z^* < f_z < w < f_1 < f_1^* \qquad (9)$$

Quer dizer: em qualquer dos casos expressos pelas relações (7) ou (8), desprezar a elasticidade do solo constitui um aumento de factor de segurança na estabilidade dinâmica do sistema, pelo que é lícito fazer essa aproximação.

4.2 — Solicitações verticais

Cargas verticais sobre as travessas

Sobre cada travessa actua normalmente:

— carga concentrada correspondente a uma chumaceira. Nesta carga há a considerar a parte estática, e a dinâmica, da forma P sen wt;

— peso da travessa. Substitui-se pela carga concentrada equivalente, aplicada a meio, que não altera o valor da energia cinética do sistema. Tem o valor de 45 % do peso da travessa.

Cargas verticais sobre os montantes

— peso das vigas longitudinais;

— peso das vigas transversais que conduzem à mesma energia cinética, ou seja 25,5 % do peso real da travessa, sobre cada montante;

— carga concentrada, aplicada no topo, correspondente ao peso do montante; pelo critério apontado tem o valor de 1/3 do peso total daquele.

Deste modo, substituímos o sistema real por um conjunto de pórticos planos independentes, formados por elementos desprovidos de inércia, com a massa concentrada em 2 pontos (fig. 4):

m_2 — no centro da travessa

$\frac{m_1}{2}$ — no topo dos montantes

A vibração do sistema é determinada pelas amplitudes Z_1 e Z_2 destas massas, correspondendo portanto a um sistema de 2 graus de liberdade. Supõe-se que a solicitação dinâmica vertical actua sobre m_2.

4.3 — Amplitudes de oscilação

Seja C_2 o coeficiente de rigidez da travessa do pórtico, ou seja, a força vertical aplicada no centro da travessa que conduz aí a uma deformação unitária é, como se sabe:

$$C_2 = \frac{1}{\Delta_2} \qquad (10)$$

em que:

$$\Delta_2 = \frac{l^3 (1 + 2k)}{96 E I_l (2 + k)} + \frac{3l}{8G A_l} \qquad (11)$$

$$k = \frac{h I_l}{l I_h} \qquad (12)$$

sendo:

E — módulo de elasticidade do material da travessa

G — módulo de elasticidade transversal do material da travessa

A_l — secção da travessa

I_l — momento de inércia da travessa

A_h, I_h — secção e momento de inércia dos montante

Se for $C_1/2$ o coeficiente de rigidez de cada montante, ou seja a força vertical que corresponde à deformação axial unitária, será:

$$\frac{C_1}{2} = \frac{E A_h}{2} \qquad (13)$$

As equações diferenciais que regem o movimento do sistema representado na fig. 4 serão então:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 Z_1 - C_2 (Z_2 - Z_1) &= 0 \\ m_2 \ddot{Z}_2 + C_2 (Z_2 - Z_1) &= P \text{ sen } wt \end{aligned} \qquad (14)$$

a que correspondem, para as amplitudes A_1 e A_2 as soluções forçadas

$$A_2 = \frac{f^2_1}{m_1 \Delta (w^2)} P \qquad (15)$$

$$A_2 = \frac{(1+\mu) f^2_z + \mu f^2_1 - w^2}{m_2 \Delta (w^2)} P(t) \qquad (16)$$

sendo:

$$f^2_1 = \frac{C_2}{m_2} \; ; \; f^2_z = \frac{C_1}{m_1 + m_2} \; ; \; \frac{m_2}{m_1} = \mu \qquad (17)$$

e ainda:

$$\Delta (w^2) = w^4 - (1+\mu)(f^2_1 + f^2_z) w^2 + \\ + (1+\mu) f^2_1 f^2_z \qquad (18)$$

Nestas equações não se tomou em consideração o amortecimento, pelo que as soluções obtidas são válidas desde que as frequências próprias do sistema se afastem da frequência forçada.

As frequências próprias do sistema f_1 e f_2 são as raízes da equação:

$$\Delta (f^2) = 0$$

Suponhamos que a frequência forçada se aproxima de uma das frequências próprias. Como normalmente se verifica a relação

$$f_1 < f_z$$

será também:

$$f_2 < f_1 < f_z < f_1$$

Se a frequência forçada se aproxima do valor da frequência própria inferior, a vibração corresponde à frequência limite f_1 e o sistema pode ser considerado como tendo um só grau de liberdade, sendo a amplitude dada por:

$$A_2 = \frac{P}{m_2 \sqrt{(f_2^2 - w^2) + 4 C^2 w^2}} \qquad (19)$$

sendo C o coeficiente de amortecimento. Na zona de ressonância será, aproximadamente:

$$A_2 = \frac{P}{2 C m_2 w} \qquad (20)$$

Se a frequência forçada se aproxima da frequência própria superior, as vibrações correspondem à frequência limite f_z, sendo a amplitude dada pelas fórmulas (19) ou 20, substituindo f_2 e m_2 por f_1 e $(m_1 + m_2)$.

5 — CALCULO DE VIBRAÇÕES HORIZONTAIS TRANSVERSAIS

5.1 — Hipóteses simplificativas: distribuição de massas

Neste caso despreza-se a elasticidade da placa superior e do solo, considerando-os rígidos.

Seja uma função aporticada constituída por 3 pórticos, com 6 montantes. Considera-se a massa da fundação e da máquina concentrada no centro de cada travessa. Cada uma das massas m_1, m_2, m_3 (fig. 5) compõe-se de:

- massa concentrada e distribuída sobre a travessa, incluindo o peso desta;
- 30 % da massa dos 2 montantes adjacentes;
- massa descarregada pelas vigas longitudinais ligadas às travessas, incluindo o seu peso.

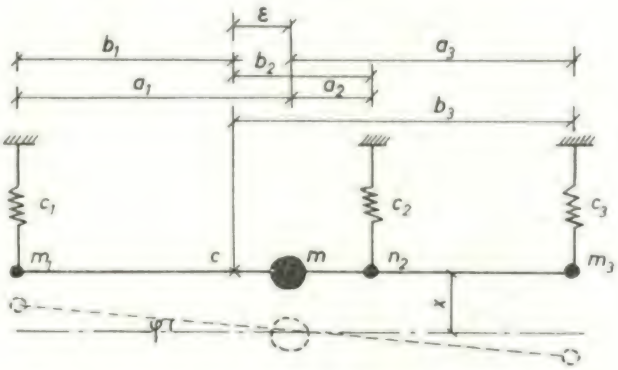


Fig. 5 — Modelo de 2 graus de liberdade, equivalente ao conjunto de 3 pórticos, para vibrações transversais

5.2 — Amplitudes de oscilação

Atribuindo a cada montante a rigidez correspondente e considerando a placa superior rígida, obtém-se o sistema equivalente representado na fig. 5. O movimento do sistema, de 2 graus de liberdade, é determinado pelo valor de x, translacção da placa superior e pela rotação φ, da placa em relação ao centro de massas, m.

As equações diferenciais correspondentes às oscilações transversais forçadas, são então, desprezando o amortecimento:

$$m x + \sum_{i=1}^{n} Ri = P \operatorname{sen} wt$$

$$M_m \ddot{\varphi} + \sum_{i=1}^{n} Mi = M \operatorname{sen} wt \qquad (21)$$

sendo:

$m = \sum_{i=1}^{n} mi$ — soma das massas equivalentes

$M_m = \sum_{i=1}^{n} m\, a_i^2$ — momento de inércia das massas equivalentes em relação ao centro das massas.

ai — distância entre o centro de massas e cada massa equivalente, mi.

Ri — força da restituição da massa m_i, correspondente ao deslocamento x_i.

Mi — momento de força R_i em relação ao eixo do centro das massas.

P,M — solicitações dinâmicas.

n — n.º de pórticos (geralmente 3 ou 4)

Sendo C_i a rigidez de cada mola equivalente aos montantes do pórtico i, será:

$$Ri = C_i\, x_i$$
$$M_i = C_i\, a_i\, x_i$$
$$x_i = x + a_i \varphi$$

ou seja:

$$R_i = C_i\, (x + A_i \varphi)$$
$$R_i = (x + \varepsilon\, \varphi) C \qquad (22)$$

em que:

ε — distância entre o centro de massas e o centro de rigidez.

$C = \Sigma\, C_i$ — Rigidez total das molas equivalentes.

Para determinar a rigidez c_i, apliquemos ao pórtico i uma força horizontal unitária, coaxial com o eixo da travessa. O deslocamento lateral δ no centro da travessa é dado, como se sabe, por:

$$\delta = \frac{h^3\, (2 + 3k)}{12E\, I_h\, (1 + 6k)} \qquad (23)$$

$$k = \frac{h\, I_l}{l\, I_l}$$

sendo:

h — altura dos montantes

l — vão da travessa

I_h, I_l — momento de inércia das secções do montante e da travessa.

A rigidez C_i será então

$$C_i = \frac{1}{\delta} \qquad (24)$$

Anàlogamente, será:

$$\Sigma\, M_i = \Sigma\, c_i\, a_i\, x_i = C\, (x + \varepsilon\, \varphi) + \gamma \qquad (25)$$

$\gamma = \Sigma\, ci\, b_i^2$ = rigidez angular da barra equivalente.

Substituindo os valores de R_i e M_i nas equações (21), obtém-se:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + Cx + C\,\varepsilon\,\varphi &= P \operatorname{sen} wt \\ M_m \ddot{\varphi} + C\,\varepsilon\, x + (C\,\varepsilon^2 + \gamma)\,\varphi &= M \operatorname{sen} wt \end{aligned} \qquad (26)$$

ou seja:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + f_x^2 x + f_x\,\varepsilon\,\varphi &= p \operatorname{sen} wt \\ \ddot{\varphi} + \frac{\varepsilon}{r^2} f^2_x\, x + \left(\frac{\varepsilon^2}{r^2} f^2_x + f^2_\varphi\right)\varphi &= R \operatorname{sen} wt \end{aligned} \qquad (27)$$

sendo:

$$f^2_x = \frac{C}{m}$$

$$f^2_\varphi = \frac{\gamma}{M_m}$$

fx — frequência própria de translacção, correspondente a vibrações em que o centro da rigidez coincide com o centro de massa, ou seja, quando $\varepsilon = 0$;

f_φ — frequência própria angular, para $\varepsilon = 0$; e sendo ainda:

$$r^2 = \frac{M_m}{m}$$

r — raio de giração;

$$p = \frac{P}{m}; \quad R = \frac{M}{M_m}$$

O sistema de equações (27) admite soluções forçadas da forma:

$$x = A_x \operatorname{sen} wt$$

$$\varphi = A_\varphi \operatorname{sen} wt$$

Substituindo estes valores nas equações (27), obtém-se:

$$\begin{aligned} (f^2_x - w^2)\, A_x + f^2_x\,\varepsilon\, A_\varphi &= p \\ \frac{\varepsilon^2}{r^2} f^2_x\, A_x + \left(\frac{\varepsilon^2}{r^2} f^2_x + f^2_\varphi - w^2\right) A_\varphi &= R \end{aligned} \qquad (28)$$

ou seja, finalmente:

$$Ax = \frac{[(\varepsilon^2/r^2)\, f^2_x + f^2_\varphi - w^2]\, p\text{-}f_x^2\, R}{\Delta\,(w^2)}$$

(29)

$$A\varphi = \frac{(\varepsilon^2/r^2)\,(f^2_x p - (f_x^2\, p - (f_x^2 - w^2)\, R}{\Delta\,(w^2)}$$

$$\Delta\,(w^2) = w^4 - (\alpha\, f_x^2 + f_\varphi^2) w^2 + f_x^2\, f_\varphi^2 \quad (30)$$

$$\alpha = 1 + \frac{\varepsilon^2}{r^2}$$

As frequências próprias f_1 e f_2 são as raízes

$$\Delta\,(f^2) = O \quad (31)$$

m_2 e f_2 devem ser substituídos respectivamente por M, M_m e f_1.

6 — VALORES ADMISSÍVEIS PARA A AMPLITUDE DE VIBRAÇÃO

As amplitudes de vibração em máquinas rotativas são limitadas essencialmente pelas condições de funcionamento da máquina, e não pela distribuição de tensões. Apresentam-se no quadro 2 elementos colhidos por Barkan [1] sobre amplitudes limite em chumaceiras de turbinas.

QUADRO 2

Amplitudes de vibração medidas em chumaceiras de turbinas

Tipo de vibração	Local de medição	Apreciação da máquina	Amplitude, em *mm*, correspondente a velocidades, em r.p.m, de:				
			3.000	2.500	2.000	1.500	1.000 ou menos
Vertical	Chumaceiras extremas	Operacional	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
		Regular	0,03	0,05	0,06	0,09	0,11
		Precisa ajustamento	0,04	0,08	0,09	0,13	0,15
Vertical	Chumaceiras centrais	Operacional	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
		Regular	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08
		Precisa ajustamento	0,03	0,04	0,08	0,09	0,13
Horizontal transversal	Chumaceiras extremas	Operacional	0,05	0,17	0,08	0,09	0,12
		Regular	0,08	0,10	0,11	0,12	0,15
		Precisa ajustamento	0,13	0,14	0,15	0,17	0,20
Horizontal transversal	Chumaceiras centrais	Operacional	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
		Regular	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12
		Precisa ajustamento	0,08	0,09	0,09	0,14	0,17

É evidente que as fórmulas deduzidas não são válidas em casos próximos da ressonância, em que as amplitudes se calculam de modo análogo ao indicado para vibrações verticais: Assim, se w se aproximar de f_2, frequência própria mais baixa e se f_2 tiver um valor próximo de f_x, a fundação está sujeita principalmente a translacções, e a amplitude é dada, aproximadamente, pela eq. (19), fazendo $m_2 = m$.

Se o valor de w se aproxima de f, e este valor for próximo do de f_φ, a fundação está sujeita principalmente a oscilações angulares e a amplitude é dada, aproximadamente, pela eq. 19 em que P,

Tomando a média destes valores, obtém-se, para limites de amplitude, os indicados no quadro 3.

7 — APLICAÇÃO NUMÉRICA: Cálculo da fundação de um grupo turbo-gerador de 1500 kW (*Extraída da obra cuja referência bibliográfica é* [1]).

a) *Dados:*

Velocidade da máquina: 3000 r.p.m.

A fundação é constituída por 3 pórticos ligados entre si. Na fig. 6 indica-se a geometria e

QUADRO 3

Amplitudes de vibração admissíveis em máquinas rotativas

Tipo de vibração	Velocidade, r.p.m.	Amplitude admissível mm
Vertical	3.000 1.500 500 — 1.000	0,02 a 0,03 0,04 a 0,06 0,10 a 0,20
Horizontal	3.000 1.500 500 — 1.000	0,04 a 0,05 0,07 a 0,09 0,10 a 0,20

distribuição de cargas sobre a fundação. No quadro 4 indicam-se as dimensões e momentos de inércia dos elementos dos pórticos.

Considera-se, como se referiu 4., que as solicitações dinâmicas impostas pelos elementos móveis da máquina actuam exclusivamente sobre as travessas dos pórticos, enquanto as solicitações estáticas devidas ao stator e à carcassa são transmitidas às vigas longitudinais.

Atribui-se, para módulo de elasticidade do betão o valor:

$$E = 3 \times 10^6 \text{ ton/m}^2$$

b) *Cálculos preliminares*

O Quadro 5 apresenta o valor de diversos parâmetros necessários à análise dinâmica, sendo a notação a empregada até aqui.

No Quadro 6 indicam-se os valores das massas equivalentes, m_1 e m_2, para os 3 pórticos.

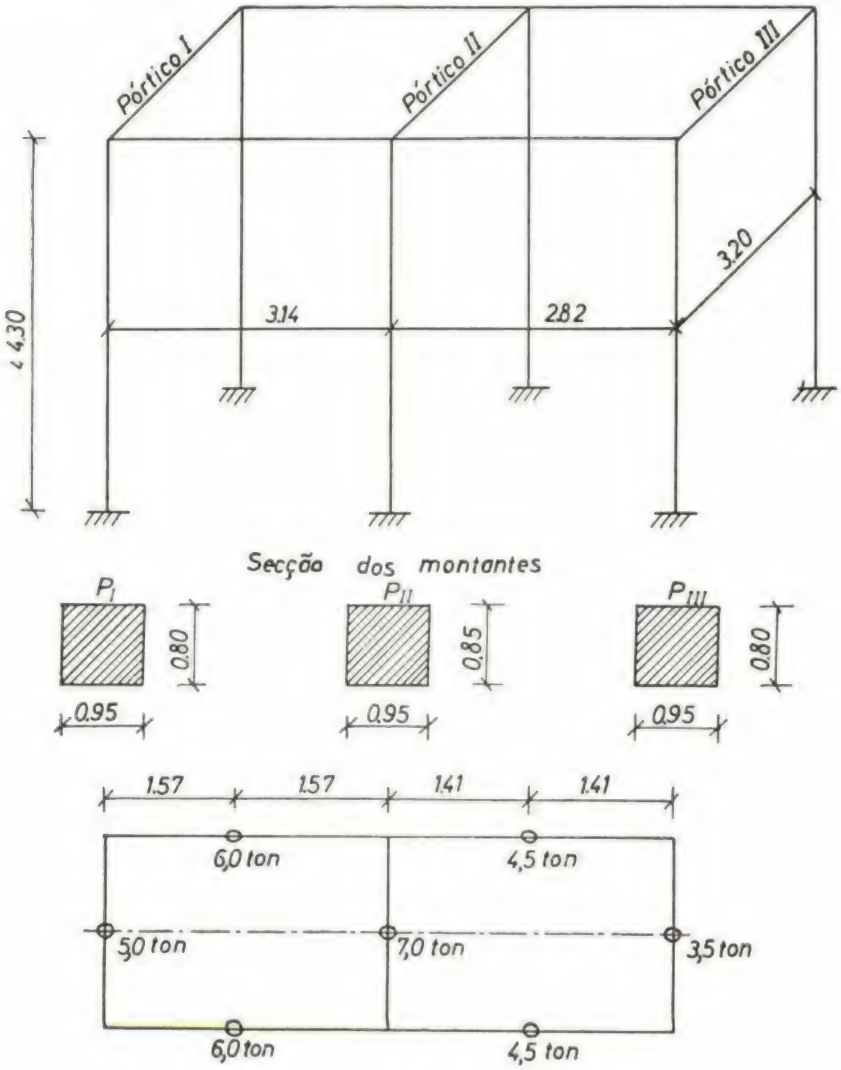


Fig. 6 — Fundação relativa à aplicação numérica 7.7

QUADRO 4

Dimensões e momentos de inércia dos elementos dos pórticos

Características da estrutura	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III
Altura, h_o, dos pórticos (m)	4,30	4,30	4,30
Vão, l_o, dos pórticos (m)	3,20	3,20	3,20
Dimensões da secção das travessas (m)	0,60 × 0,95	0,83 × 1,00	0,64 × 1,00
» » » » dos montantes (m)	0,95 × 0,80	0,95 × 0,83	0,95 × 0,80
Área, A_h, da secção dos montantes (m^2)	0,76	0,78	0,76
Momento de inércia axial, I_h, da secção dos montantes (m^4)	0,039	0,041	0,039
Área, A_l, das secções das travessas (m^2)	0,58	0,83	0,64
Momento de inércia axial, I_l, da secção das travessas (m^4)	0,0425	0,069	0,053
Peso W_l, das travessas (ton)	4,26	6,10	4,70
Peso W_h, dos montantes (ton)	6,53	6,67	6,53

QUADRO 5

Resultados preliminares relativos à aplicação numérica 7.

Parâmetros	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III
h_o/l_o	4,30/3,20 = 1,35	1,35	1,35
b/l_o	0,40/3,20 = 0,125	0,130	0,125
α	0,17	0,17	0,17
Altura reduzida h (m) (eq. 6)	4,30 — 0,17 × 0,48 = 4,22	4,22	4,22
Comprimento reduzido, 1,(m) (eq. 6)	3,20 — 0,17 × 0,80 = 3,06	3,06	3,06
$l_s = h/1$	4,22/3,06 = 1,39	1,38	1,39
1^2_s	1,94	1,91	1,94
I_l/I_h	$\frac{0,0425}{0,0390} = 1,09$	1,62	1,36
$K = h\,I_l/l\,I_h$	1,09 × 1,39 = 1,51	2,32	1,89
K^2	2,27	5,00	3,57

QUADRO 6

Massas e cargas equivalentes

Solicitações e massas equivalentes	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III
Carga concentrada sobre a travessa, ton	5,0	7,0	3,5
Carga equivalente ao peso da travessa, $0{,}45 \times W_t$, ton	$0{,}45 \times 4{,}26 = 1{,}91$	$0{,}45 \times 6{,}10 = 2{,}74$	$0{,}45 \times 4{,}70 = 2{,}12$
Massa equivalente, m_2, aplicada no centro da travessa, ton seg^2 m^{-1}	$\frac{5{,}0 + 91}{9{,}81} = 0{,}71$	$\frac{7{,}0 + 2{,}74}{9{,}81} = 1{,}00$	$\frac{3{,}5 + 2{,}12}{9{,}81} = 0{,}58$
Carga equivalente ao peso dos montantes, $0{,}33\ W_h$, ton	$0{,}33 \times 6{,}53 = 2{,}20$	$0{,}33 \times 6{,}67 = 2{,}25$	$0{,}33 \times 6{,}53 = 2{,}20$
Cargas transmitidas pelas vigas longitudinais, ton	$6{,}0 + 2{,}4 \times 0{,}42 \times 3{,}14 = 9{,}16$	$6{,}0 + 4{,}5 \times 2{,}4 \times 0{,}42 \times (3{,}14 \times 2{,}82) = 16{,}50$	$4{,}5 + 2{,}4 \times 0{,}42 \times \times 2{,}82 = 7{,}36$
Cargas equivalentes, transmitidas aos montantes pelas travessas, ton	1,09	1,55	1,20
Massa equivalente, m_1, aplicada no topo do montante, ton seg^2 m^{-1}	$\frac{2{,}20 + 9{,}16 + 1{,}09}{9{,}81} = 1{,}28$	$\frac{2{,}25 + 16{,}5 + 1{,}55}{9{,}81} = 2{,}08$	$\frac{2{,}20 + 7{,}36 + 1{,}20}{9{,}81} = 11{,}1$

No quadro 7 apresentam-se os valores da rigidez equivalente e no quadro 8 os das frequências limite.

QUADRO 7

Rigidez equivalente

Rigidez equivalente	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III
$\frac{l^3 (1+2k)}{96E\ I_l (2+K)}$	$\frac{3{,}06^3 (1+2\times 1{,}51)}{96\times 3\times 10^6\times 0{,}0425\times} = \times(2+1{,}51) = 2{,}70\times 10^{-6}$	$1{,}88\times 10^{-6}$	$2{,}35\times 10^{-6}$
$\frac{3L}{8G\,A_l}$	$\frac{3\times 3{,}06}{8\times 10^6\times 0{,}58} = 1{,}98\times 10^{-6}$	$1{,}38\times 10^{-6}$	$1{,}80\times 10^{-6}$
Deformação do ponto médio da travessa sob a acção da carga unitária (m kg^{-1})	$(2{,}70+1{,}98)\ 10^{-} = 4{,}68\times 10^{-6}$	$3{,}26\times 10^{-6}$	$4{,}15\times 10^{-6}$
Rigidez, C_2, das travessas ton/m	$21{,}4\times 10^4$	$30{,}8\times 10^4$	$24{,}0\times 10^4$
Rigidez C_1, dos montantes, ton/m $\frac{2EA_h}{h}$	$\frac{2\times 3\times 10^6\times 176}{3{,}06} = 149\times 10^4$	153×10^4	149×10^4

QUADRO 8

Frequências limite relativas à ampliação numérica 7.

Relação entre massas e frequências limite	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III
$\alpha = \frac{m_2}{m_1}$	$\frac{0{,}71}{1{,}28-} = 0{,}55$	0,48	0,52
Quadrado da frequência própria da travessa, considerando os montantes rígidos: f_l, seg^{-2}	$\frac{21{,}4\times 10^4}{0{,}71} = 30{,}2\times 10^4$	$30{,}8\times 10^4$	$41{,}5\times 10^4$
Quadrado da frequência própria dos montantes considerando as travessas rígidas: f_z^2, seg^{-2}	$\frac{21{,}4\times 10^4}{1{,}28+0{,}71} = 75{,}0\times 10^4$	$49{,}8\times 10^4$	$88{,}3\times 10^4$

c) *Amplitude das oscilações verticais, forçadas, da fundação*

De acordo com os dados, o valor da excentricidade das massas relativas será:

$$r_0 = 0{,}05 \times 10^{-3} \text{ m}$$

O peso dos elementos móveis em cada pórtico será:

$W_1 = 1{,}5$ ton; $W_2 = 2{,}0$ ton; $W_3 = 1{,}0$ ton

A amplitude da solicitação vertical sobre cada travessa é então:

Pórtico I:

$$P_1 = 0{,}5 \times 10^{-3} \times 1{,}5/9{,}81 \times 9 \times 10^4 = 0{,}69 \text{ ton}$$

Pórtico II: $P_2 = 0{,}05 \times 10^{-3} \times 1{,}5/9{,}81 \times 9 \times \times 10^4 = 0{,}92$ ton

Pórtico III: $P_3 = 0{,}05 \times 10^{-3} \times 1{,}0/9{,}81 \times 9 \times \times 10^4 = 0{,}46$ ton

A amplitude das oscilações forçadas em cada pórtico é então:

Pórtico I:

$$\Delta (w^2) = 81 \times 10^8 - (1 + 0{,}55)\ (30{,}2 + 75{,}0)\ 9 \times 10^8 + (1 + 0{,}55)\ 30{,}2 \times 75{,}0 \times 10^8 = = 21{,}2 \times 10^{10}$$

A amplitude das oscilações verticais, A_1, do montante será [2]:

$$A_1 = \frac{30{,}2 \times 10^4 \times 0{,}69}{1{,}28 \times 21{,}2 \times 10^{10}} = 0{,}71 \times 10^{-6} \text{ m}$$

A amplitude A_2 das oscilações verticais do centro da travessa é dado por:

$$A_2 = \frac{(1 + 0{,}55) \times 75{,}0 \times 10^4 + 0{,}55 \times 30{,}2 \times 10^4 - 10^4}{0{,}71 \times 21{,}2 \times 10^{10}} \times \times 0{,}69 = 4{,}7 \times 10^{-6} \text{ m}$$

A amplitude total das oscilações verticais do pórtico é então:

$$A_t = A_1 + A_2 = (0{,}71 + 4{,}7)\ 10^{-6} \text{ m} = 0{,}005 \text{ mm}$$

Anàlogamente, vem:

Pórtico II

$$\Delta (w^2) = 12{,}8 \times 10^{10}$$
$$A_1 = 10 \times 10^{-6} \text{ m}$$
$$A_2 = 5{,}7 \times 10^{-6} \text{ m}$$
$$A_t = A_1 + A_2 = 0{,}007 \text{ mm}$$

Pórtico III

$$\Delta (w^2) = 37{,}8 \times 10^{10}$$
$$A_1 = 0{,}46 \times 10^{-6} \text{ m}$$
$$A_2 = 1{,}6 \times 10^{-6} \text{ m}$$
$$A_t = A_1 + A_2 = 0{,}0002 \text{ mm}$$

Os valores determinados estão muito aquém do limite admissível.

d) — *Amplitudes das oscilações horizontais (transversais), forçadas da fundação.*

A massa equivalente a cada pórtico é dada como se referiu em 5. por:

— Cargas concentradas e distribuídas sobre a travessa, incluindo a respectiva massa.

— 30 % do peso dos montantes.

— Cargas transmitidas pelas vigas longitudinais adjacentes a cada travessa, incluindo a respectiva massa.

Será então:

Pórtico I:

$$m_1 = \frac{5{,}0 + 4{,}26 + 0{,}30 \times 6{,}53 \times 2 + 9{,}16}{9{,}81} = = 2{,}13 \text{ ton seg}^2 \text{ m}^{-1}$$

Pórtico II:

$$m_2 = \frac{7{,}00 + 6{,}10 + 0{,}30 \times 6{,}67 \times 2 + 16{,}50}{9{,}81} = = 3{,}25 \text{ ton seg}^2 \text{ m}^{-1}$$

Pórtico III:

$$m_3 = \frac{3{,}5 + 4{,}70 + 0{,}30 \times 6{,}53 \times 2 + 3{,}5}{9{,}81} = = 1{,}40 \text{ ton seg}^2 \text{ m}^{-1}$$

A massa equivalente total é então:

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = 6{,}78 \text{ ton seg}^2 \text{ m}^{-1}$$